PHYSIKALISCHE ZEITSCHRIFT

No. 2. 15. Januar 1909. Redaktionsschluß für No. 3 am 25. Januar 1909. 10. Jahrgang.

INHALT.

Originalmitteilungen:

F. Soddy, Die Bildung von Helium aus Uranium. S. 41.

E. Rutherford u. H. Geiger, Die Ladung und Natur des α-Teilchens. S. 47.

F. A. Harvey, Bemerkung über α-Strahlen aus Radium B und über atmosphärische Radioaktivität. S. 47.

P. Gruner, Über die Bewegung der freien Elektronen in den Metallen. S. 48.

E. Hochheim, Über eine Änderung an der Bernsteinisolation des Elektroskops nach Elster und Geitel. S. 51.

F. Dessauer, Über eine Schaltungsvariante bei Hochfrequenzapparaten. S. 52.

R. Rüdenberg, Eine Methode zur Erzeugung von Wechselströmen. S. 54.

Chr. Ries, Über die Anwendung von Selendampf zur Herstellung von lichtempfindlichen Zellen. S. 54.

E. B. Andersen, Über Metallstrahlen. S. 54.

A. Wagener, Der Spiegelderivator und seine Anwendung. S. 57.

J. G. Gray u. A. D. Roß, Über die Herstellung permanenter Magnete aus Proben nahezu reinen Kupfers. S. 59.

Vorträge und Reden:

M. Planck, Die Einheit des physikalischen Weltbildes. S. 62.

Besprechungen:

O. Hecker, Seismometrische Beobachtungen in Potsdam 1907. S. 75.

Montessus de Ballore, Seismologie. S. 75.

Protokolle des Internationalen Komitees der Gewichte und Maße. II 4. S. 76.

Abhandlungen und Berichte des Internationalen Bureaus der Gewichte und Maße. XIII. S. 76.

R. Neuhauß, Lehrbuch der Projektion. S. 76.

P. Eichmann, Photographische Belichtungstabelle Helios. S. 76.

A. v. Hübl, Das Kopieren bei elektrischem Licht. S. 76.

A. Parzer-Mühlbacher, Röntgenphotographie. S. 77.

E. E. Fournier d'Albe, Die Elektronentheorie. S. 77.

Arbeiten aus dem Jefferson Physical Laboratory der Harvard Universität 1906 und 1907. S. 77.

B. Donath, Physikalisches Spielbuch für die Jugend. S. 77.

S. Arrhenius, Untersuchungen über die galvanische Leitfähigkeit der Elektrolyte. S. 77.

C. Doppler, Abhandlungen. S. 77.

G. Bruni, Feste Lösungen und Isomorphismus. S. 77.

J. G. Gray, Bibliographie der Werke Isaak Newtons. S. 77.

G. C. Young u. W. H. Young, Der kleine Geometer. S. 78.

H. Bock, Die Uhr, Grundlagen und Technik der Zeitmessung. S. 78.

W. Louguinine u. A. Schukarew, Kalorimetrische Methoden des thermischen Laboratoriums der Universität Moskau. S. 78.

Führer durch die Sammlungen des Deutschen Museums von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik in München. S. 78.

Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik. Bibliothekskatalog. S. 78.

R. Rinkel, Einführung in die Elektrotechnik. S. 79.

L. Mamlock, Stereochemie. S. 79.

F. W. Hinrichsen, Vorlesungen über chemische Atomistik. S. 79.

Jahrbuch der Chemie. XVII. S. 79.

P. Goerens, Einführung in die Metallographie. S. 79.

P. Vageler, Die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in Natur und Technik. S. 79.

W. Ostwald, Der Werdegang einer Wissenschaft. S. 80.

W. Bermbach, Einführung in die Elektrochemie. S. 80.

Personalien. S. 80.

ORIGINALMITTEILUNGEN.

Die Bildung von Helium aus Uranium.

Von F. Soddy.

In einer Arbeit, die im Oktoberheft des Philosophical Magazine des Jahrganges 1908 erschienen ist, habe ich vorläufige Mitteilungen über einige seit 1905 von mir unternommene Versuche gemacht, die Heliumproduktion seitens der primären radioaktiven Elemente nachzuweisen und zu messen. Die dort mitgeteilten spärlichen Ergebnisse bezogen sich hauptsächlich auf das Element Thorium. Die hier mitzuteilenden weiteren Ergebnisse, die ich seit der Veröffentlichung jener Mitteilung an dem Element Uranium erhalten habe, bringen den Gegenstand einen Schritt weiter. Die Methode habe ich in der angezogenen Arbeit ausführlich beschrieben. Durch besondere Vorkehrungen können die Lösungen der verwandten Stoffe vollkommen von Luft befreit und unbegrenzte Zeit in diesem Zustande erhalten werden. Nach jeder beliebigen Anhäufungszeit können die Gase durch Kochen der Lösung in einem aus einem Voltameter kommenden Gasstrome vollständig ausgetrieben werden. Die ausgetriebenen Gase werden durch Abkühlung wasserfrei gemacht und dann in einem besonderen Vakuumofen der Einwirkung von Kalziumdampf ausgesetzt, wodurch alle Gase, mit Ausnahme der inerten, vollkommen absorbiert werden. Nach der Abkühlung wird der Ofen mit Quecksilber gefüllt und ein etwa vorhandener Gasrest in eine möglichst kleine Spektralröhre aus Bleiglas gepreßt. Die geringste bei einem gelungenen Versuch nachweisbare Heliummenge ergab sich aus wiederholten Versuchen zu $2 \cdot 10^{-10}$ g. Ich führte mit einem ähnlichen Apparate, der eine Natriumsulfatlösung enthielt, Kontrollversuche aus und bin überzeugt, daß die erhaltenen Ergebnisse zuverlässig sind.

Ich habe zwei verschiedene Mengen Uraniumnitrat verwendet. Die eine, kleinere, war durch Extraktion mit Äther von Herrn T. D. Mackenzie sorgfältig gereinigt worden. Sie enthielt 340 g Uranium. Als es sich zeigte, daß die Heliumproduktion bei dieser Menge

für eine bequeme Messung zu langsam erfolgte, begann ich einen zweiten Versuch in weit größerem Maßstabe. Die Kosten dieser und weiterer ähnlicher Versuche im großen Maßstabe wurden aus einem Stipendium bestritten, das mir seitens der Carnegie-Stiftung für die Zwecke dieser Untersuchung gewährt worden war. Zur Verwendung gelangten 4 kg käufliches Uraniumnitrat von guter Qualität, die aus wässeriger Lösung auskristallisiert waren. Sie enthielten 1850 g Uranium. Die Vorbereitung des Versuches und die vollständige Austreibung der Luft waren am 15. August 1908 erfolgt. Die erste Probe auf Helium wurde nach einem Zeitraum von 61 Tagen gemacht. Es wurde die Anwesenheit von Helium vom mehrfachen Betrage der kleinsten durch die Methode nachweisbaren Menge in den extrahierten Gasen nachgewiesen. Die zweite Probe wurde nach Verlauf von weiteren 27 Tagen gemacht. Es war wiederum Helium vorhanden, dieses Mal aber in einer Menge, die — wenn überhaupt — jedenfalls nicht viel größer war als die kleinste nachzuweisende. Die folgende Probe wurde 12 Tage später vorgenommen. Trotzdem dieser Versuch besonders vollkommen war, ließ sich kein Helium nachweisen. Ich machte dann noch einen Versuch mit der kleineren Uraniummenge nach einer Anhäufungszeit von 128 Tagen. Helium war deutlich nachweisbar, und die vorhandene Menge ergab sich durch Schätzung als nicht größer als der 1,5 fache Mindestbetrag.

Die Produktion von Helium aus Uranium kann danach als sicher festgestellt gelten. Was die Produktionsgeschwindigkeit betrifft, so zeigen die Versuche, daß sie annähernd $2 \cdot 10^{-12}$ (Jahr)$^{-1}$ beträgt. Das heißt, aus 1000000 kg Uranium werden jährlich etwa 2 mg Helium erzeugt. Der zweite erwähnte Versuch zeigt, daß es nicht weniger als 1,5 mg sind; der dritte Versuch, daß es weniger als 3,3 mg sind; der letzte Versuch mit der kleineren Menge zeigt, daß es nicht weniger als 1,7 und vermutlich nicht mehr als 2,5 mg sind. Es ist interessant, daß der theoretische Wert, den ich kürzlich aus der Zerfallstheorie für die Produktionsgeschwindigkeit unter der Annahme berechnet habe, daß ein Atom Uranium nur ein Atom Helium erzeugt, daß dieser Wert $2 \cdot 10^{-12}$ (Jahr)$^{-1}$ beträgt. Diese Messungen stützen also keineswegs die in der erwähnten Arbeit erörterte Ansicht, nach welcher Uranium beim Zerfall zwei Heliumatome aussendet.

Ich will noch erwähnen, daß ich Beobachtungen an einer Menge Sylvin (Kaliumchlorid) begonnen habe. Sylvin gehört zu den Mineralien, die Strutt untersucht hat, und wird von ihm als außergewöhnlich reich an Helium angesehen, das nicht auf bekannte radioaktive Umwandlungen zurückgeführt werden kann. Die Versuche deuten vorläufig an, daß die Geschwindigkeit der Heliumproduktion aus dieser Substanz, sofern eine solche Produktion überhaupt stattfindet, unterhalb $2,5 \cdot 10^{-12}$ (Jahr)$^{-1}$ liegt.

Physikalisch-Chemisches Institut der Universität Glasgow, im November 1908.

(Aus dem Englischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 2. Dezember 1908.)

Die Ladung und Natur des α-Teilchens[1]).

Von E. Rutherford und H. Geiger.

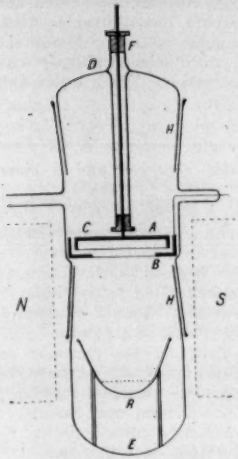
In einer früheren Arbeit haben wir die Zahl der von einem Gramm Radium pro Sekunde ausgesandten α-Teilchen auf direktem Wege bestimmt. Die Kenntnis dieser Zahl ermöglicht es, die Ladung, die von einem α-Teilchen mitgeführt wird, zu bestimmen. Man braucht hierzu nur die ganze Ladung zu messen, die von den α-Teilchen einer bekannten Menge Radium mitgeführt wird. Da für die Zählungsversuche Radium C als Strahlenquelle diente, so erschien es wünschenswert, auch die Ladungsmessungen unter Verwendung derselben Substanz durchzuführen.

In einer vor einigen Jahren veröffentlichten Arbeit hat der eine von uns bereits die Versuchsbedingungen eingehend erörtert, die für eine exakte Bestimmung der von den α-Teilchen mitgeführten Gesamtladung geeignet sind[2]). Es wurde damals die Ladung der α-Teilchen, die von einem dünnen Filme von Radium ausgehen, gemessen. Für die vorliegenden Versuche wurde dieselbe Meßmethode wie bei jenen früheren Versuchen verwendet, nur waren gewisse Modifikationen durch die Wahl von Radium C als Strahlungsquelle bedingt.

Aus der beistehenden Figur ist die Versuchsanordnung ersichtlich. Ein etwa 4 cm weites Glasrohr HH ist an beiden Enden durch die Schliffe D und E geschlossen. Durch den oberen Schliff führte wohlisoliert ein Messingdraht, der die Elektrode CA, ein kreisförmiges Messingkästchen, mit dem Elektrometer verband. Parallel zu dieser Elektrode und in einem Abstand von etwa 2 mm war der Messingring B angebracht, dessen innerer Durchmesser 1,92 cm betrug. Der Messingring wie auch die untere Seite der Elektrode CA waren durch Aluminiumfolie überdeckt, was durch die dünnen Linien in der Figur angedeutet ist. Das im unteren Schliffe befindliche Becherchen R konnte heraus-

1) Auszug aus der in den Proceedings of the Royal Society A. **81**, 162—173, 1908 veröffentlichten Arbeit.

2) Rutherford, Phil. Mag., Aug. 1905.



genommen und der Radiumemanation exponiert werden, und zwar war es durch eine besondere Vorrichtung möglich gemacht, nur den Boden des Bechers bis zur gestrichelten Linie mit der Radiumemanation in Berührung zu bringen.

Nach mindestens dreistündiger Exposition wurde der Becher in das Rohr gesetzt. Dann wurde dieses hochgradig evakuiert und zwischen die Pole eines kräftigen Elektromagneten verbracht. Dieses Magnetfeld diente einem doppelten Zweck. Bekanntlich setzen die α-Teilchen beim Auftreffen auf Materie langsam sich bewegende Elektronen, sogenannte δ-Strahlen, in großer Zahl in Freiheit. Diese negativ geladenen Teilchen geben beim Auftreffen auf die Elektrode ihre Ladung ab und verschleiern damit völlig den von den α-Strahlen herrührenden Effekt. Schon ein schwaches Magnetfeld vermag aber diese Teilchen alle in kurzem Bogen wieder auf die Oberfläche, von der sie ausgehen, zurückzuführen, so daß auf diese Weise die störende Wirkung der δ-Teilchen vollkommen eliminiert wird.

Aus der Figur ist ersichtlich, daß die α-Teilchen beim Auftreffen auf die Elektrode CA zuerst das diese überspannende Aluminiumblatt durchdrangen und dann erst von der Elektrode absorbiert wurden. Die große Zahl von δ-Teilchen, die gerade dort ausgelöst werden, konnten die Aluminiumfolie nicht mehr nach rückwärts durchdringen und somit keinen störenden Einfluß auf die Messung haben. Es war also nur nötig, den Effekt, der durch die zwischen den beiden Aluminiumfolien freiwerdenden δ-Teilchen hervorgerufen werden könnte, durch das Magnetfeld zu verhindern.

Das magnetische Feld bezweckte zweitens die von dem radioaktiven Niederschlag im Becher R ausgehenden β-Teilchen so stark zur Seite zu biegen, daß sie nicht auf die Elektrode auftreffen konnten. Der Abstand zwischen der Strahlungsquelle und der Elektrode mußte darum relativ groß (3,5 cm) gewählt werden, damit die unter den speziellen Bedingungen erreichbare Feldintensität eine genügende Ablenkung der β-Strahlen bewirkte.

Die von R ausgehenden α-Teilchen durchdrangen die beiden Aluminiumfolien und gaben ihre Ladung an die mit dem Elektrometer verbundene Elektrode CA ab. Die Ladung, die diese Elektrode empfing, war stets positiv, unabhängig davon, ob die untere Platte B mit dem positiven oder negativen Pol einer Batterie in Verbindung stand. Es sei n_1 der am Elektrometer gemessene Strom bei positiver Ladung der Platte B und n_2 der Strom bei negativer Ladung. Dabei ist zu bemerken, daß n_2 immer etwas kleiner als n_1 ist, und zwar hängt das Verhältnis von $\frac{n_1}{n_2}$ von dem Grad der Evakuation ab. Es sei ferner i_0 der Strom, der zwischen den beiden Platten infolge der Ionisation der Gasreste durch die α-Teilchen fließt, dann ist

$$n_1 = i_0 + nE,$$

wobei n die Zahl der die obere Elektrode treffenden α-Teilchen und E die Ladung eines α-Teilchens bedeutet. Bei negativer Ladung der Platte B ist der Ionisationsstrom gleich groß, aber entgegengesetzt gerichtet. Daher ist:

$$n_2 = nE - i_0$$

und folglich wird:

$$nE = \frac{1}{2}(i_1 + i_2).$$

i_1 und i_2 wurden elektrometrisch gemessen. Zur Bestimmung von n war es nötig, die im Becher vorhandene Menge Radium C genau zu kennen. Es wurden daher gleichlaufend mit der Elektrometermessung auch Messungen der γ-Strahlenintensität des aktiven Niederschlags ausgeführt. Der Bruchteil n der ausgesandten α-Teilchen, welcher pro Sekunde von der Elektrode absorbiert wurde, konnte dann mit großer Genauigkeit aus der Intensität der Strahlenquelle, aus ihrem Abstand vom Ringe B und dem inneren Durchmesser dieses Ringes berechnet werden. Daß die Strahlenquelle eine gewisse Ausdehnung hatte, wurde bei der Berechnung berücksichtigt.

Es wurden eine Reihe von Messungen durchgeführt für Strahlungsintensitäten entsprechend 3 bis 21 mg *Ra*. Als Mittelwert aus allen Messungen ergab sich, daß ein α-Teilchen von Ra-

dium C eine positive Ladung von $9{,}3 \times 10^{-10}$ E.S.E. mit sich führt.

Durch anderweitige Versuche ist erwiesen, daß die α-Teilchen von allen radioaktiven Substanzen, soweit sie darauf hin untersucht wurden, identisch sind. Wir sind also zu dem Schluß berechtigt, daß jedes α-Teilchen, von welcher Substanz es auch stammt, unter normalen Bedingungen die oben angegebene Ladung trägt.

Vergleich der Ladung eines α-Teilchens mit der eines Wasserstoffatoms.

Eine Reihe von Forschern haben die Ladung e bestimmt, die von einem Gasion mitgeführt wird. Townsend[1]) schloß auf Grund von Beobachtungen elektrolytischen Wasserstoffes, daß diese Ladung 3×10^{-10} E.S.E. betrage. Untersuchungen, die eine genaue Bestimmung von e zum Zwecke hatten, wurden von J. J. Thomson[2]), H. A. Wilson[3]) und von Millikan und Begeman[4]) durchgeführt; und zwar basierten die Versuchsmethoden auf der Eigenschaft der Ionen, als Kondensationskerne in übersättigtem Wasserdampf zu dienen. Der Zahlenwert, den J. J. Thomsons Messungen ergaben, war $3{,}4 \times 10^{-10}$ abs. Einh., der von Wilson $3{,}1 \times 10^{-10}$ und der von Millikan $4{,}06 \times 10^{-10}$.

Vergleicht man diese Zahlen mit dem für das α-Teilchen gefundenen Wert $(9{,}3 \times 10^{-10})$, so sieht man, daß dieser zwischen $2e$ und $3e$ liegt. Nun ist aber e das elektrische Elementarquantum und es muß daher die von einem α-Teilchen mitgeführte Ladung ein ganzes Vielfaches von e, d. h. entweder $2e$ oder $3e$ sein.

Wir wollen nun auf Grund von radioaktiven Daten einige Berechnungen durchführen, die darauf hinweisen, daß ein α-Teilchen die Ladung $2e$ trägt und daß die bisher angenommenen Werte von e wohl etwas zu klein sind[5]).

1. Berechnung der Ladung des α-Teilchens aus dem Wärmeeffekt des Radiums.

Diese Berechnung basiert auf der Annahme, daß die von Radium abgegebene Wärmemenge ein Maß für die kinetische Energie der α-Teilchen ist. Für diese Annahme spricht vor allem die Tatsache, daß die Wärmewirkung, die von den β- und γ-Strahlen zusammen herrührt, nur einige Prozente des α-Strahleneffekts beträgt. Bezeichnet man mit m die Masse eines α-Teilchens und mit u seine Anfangsgeschwindigkeit, so ist die kinetische Energie des Teilchens gegeben durch:

$$\frac{1}{2} m u^2 = \frac{1}{2} \frac{m u^2}{E} \cdot E.$$

Nun hat der eine von uns in einer früheren Arbeit den Wert von $\frac{1}{2} \frac{m u^2}{E}$ durch Ablenkungsversuche von α-Teilchen im elektrostatischen Felde genau bestimmt und zwar für die vier Gruppen von α-Teilchen, die Radium im Gleichgewicht aussendet[1]). Die kinetische Energie der α-Teilchen von 1 Gramm Radium im Gleichgewicht ergab sich zu $4{,}15 \times 10^4 NE$ Erg, wobei N die Zahl der pro Sekunde zerfallenden Radiumatome bedeutet. Ferner betrug der Wärmeeffekt des Radium-Standardpräparates 110 gr cal pro Gramm und Stunde. Setzt man diese Wärmemenge der kinetischen Energie der α-Teilchen gleich, so erhält man

$$4{,}15 \times 10^4 NE = 1{,}28 \times 10^6.$$

Und nach Einsetzung des bekannten Wertes von N, nämlich $3{,}4 \times 10^{10}$, wird:

$$E = 9{,}1 \times 10^{-10} \text{ E.S.E.}$$

Die Übereinstimmung dieses Wertes mit dem experimentell gefundenen ist eine überraschend gute.

2. Berechnung der Ladung eines Wasserstoffatoms aus der Halbwertsperiode von Radium.

Boltwood[2]) hat kürzlich die Halbwertsperiode von Radium in einer sehr einfachen Weise bestimmt. Er kommt zu dem Schlusse, daß Radium nach Verlauf von 2000 Jahren zur Hälfte zerfallen ist. Es sei nun P die Zahl der in einem Gramm Wasserstoff vorhandenen Atome. Dann ist die Zahl der Atome in einem Gramm Radium $P/226$, da die neuesten Bestimmungen des Atomgewichts des Radiums den Wert 226 ergaben. Versteht man weiter unter λ die Halbwertsperiode von Radium, so ist die Zahl der pro Sekunde zerfallenden Radiumatome $\frac{\lambda P}{226}$. Da nun, wie wohl mit Sicherheit angenommen werden darf, jedes zerfallende Atom ein α-Teilchen aussendet, so ist diese Zahl auch gleich der Zahl N der α-Teilchen, die pro Sekunde und Gramm von Radium ausgesandt werden. Der Wert von N ist aber $3{,}4 \times 10^{10}$ und damit wird

$$\frac{\lambda P}{226} = 3.4 \times 10^{10}.$$

1) Phil. Mag., Febr. 1898; March 1904.
2) Phil. Mag., March 1903.
3) Phil. Mag., April 1903.
4) Phys. Rev., Febr. 1908, pag. 197.
5) Neuerdings hat E. Regener (Verhandl. d. D. Phys. Ges. **10**, 78, 1908) auf indirektem Wege die Ladung eines α-Teilchens zu $2e$ abgeleitet. Es wurde die Zahl der Szintillationen von einem Poloniumpräparat gezählt und angenommen, daß diese Zahl der Zahl der ausgesandten α-Teilchen entspricht. Zum Vergleich wurde sodann der Ionisationsstrom gemessen und hieraus ebenfalls die Zahl der α-Teilchen berechnet unter Verwendung der Daten, die von Rutherford für die Ionisation eines α-Teilchens gegeben waren.

1) Rutherford, Phil. Mag., Oktober 1906.
2) Amer. Journ. Sc., June 1908.

Nun ist aber durch Elektrolyse von Wasser bekannt, daß

$$P \cdot e = 9{,}6 \times 10^3 \text{ E.M.E.}$$
$$= 2{,}88 \times 10^{14} \text{ E.S.E.},$$

wobei unter e die Ladung eines Wasserstoffatoms verstanden ist. Durch Division beider Gleichungen und nach Einsetzen des Boltwoodschen Wertes für λ, nämlich $1{,}09 \times 10^{-11}$, erhalten wir

$$e = 4{,}1 \times 10^{-10} \text{ E.S.E.}$$

Es ist dies ein neuer Weg zur Berechnung von e auf Grund radioaktiver Daten. Würde man die Annahme machen, daß zwei α-Teilchen statt eines beim Zerfall eines Radiumatoms fortgeschleudert werden, so wäre der Wert von e doppelt so groß als der oben angegebene, nämlich $8{,}2 \times 10^{-10}$. Das wäre ein Wert, der mehr als zweimal so groß ist, wie der, den die früheren Messungen ergaben und es ist daher diese Annahme schon aus diesem Grunde unzulässig.

Diskussion der Genauigkeit der verschiedenen Methoden zur Bestimmung von e.

Wir haben auf experimentellem Wege gefunden, daß ein α-Teilchen eine positive Ladung E von $9{,}3 \times 10^{-10}$ E.S.E. mit sich führt. Ist die Ladung des α-Teilchens gleich der doppelten Ionenladung $2e$, so wird der Wert von e 4,65 $\times 10^{-10}$ Einheiten. Dieser Wert ist wesentlich größer als diejenigen Werte, die die Messungen von J. J. Thomson, H. A. Wilson und Millikan ergeben haben. Er ist auch etwas größer als der Wert, der durch die sich auf die Lebensdauer des Radiums stützende Berechnung gefunden wurde. Da eine genaue Kenntnis von e von grundlegender Bedeutung ist, so möchten wir einige Bemerkungen anfügen, welche zeigen sollen, daß die vermittels der älteren Methoden gefundenen Werte wohl alle etwas zu klein sind. Wir sind weit entfernt, in irgendwelcher Weise an der Exaktheit der früheren Messungen Kritik üben zu wollen, doch möchten wir auf eine Fehlerquelle hinweisen, die bei den früheren Versuchen immer zugegen war und die sich wohl nur sehr schwer eliminieren läßt.

Bei den erwähnten Versuchen wurde die Zahl der vorhandenen Ionen dadurch bestimmt, daß die Fallgeschwindigkeit der Wassertröpfchen, die sich nach adiabatischer Ausdehnung des Gases um die Ionen gebildet hatten, gemessen wurde. Dabei wird angenommen, daß keine merkliche Verdampfung der Tropfen während der Messung der Fallgeschwindigkeit eintritt. Es kann aber keinem Zweifel unterliegen, daß eine derartige Verdampfung wirklich eintritt und daß die Größe der Tropfen während des Fallens allmählich abnimmt. Bei der Berechnung führt dieser Effekt auf einen zu großen Wert für die Zahl der vorhandenen Ionen und es ergibt sich infolgedessen ein zu kleiner Wert von e. Die Korrektion, die nötig wäre, um dem besprochenen Effekt Rechnung zu tragen, hängt wohl vor allem von den Dimensionen des Expansionsgefäßes ab. Beträgt der Fehler, der durch die Verdampfung bedingt ist, etwa 30 % für die Versuche von J. J. Thomson und H. A. Wilson, und etwa 15 % bei den Messungen von Millikan, so würde der korrigierte Wert von e in Übereinstimmung sein mit dem Werte $4{,}65 \times 10^{-10}$, wie er sich aus den Ladungsbestimmungen eines α-Teilchens ergab.

Die Berechnung von $e = 4{,}1 \times 10^{-10}$ aus der Halbwertsperiode des Radiums ergibt aus anderen Gründen wohl ebenfalls einen etwas zu kleinen Wert. Die Boltwoodsche Methode ist sehr einfach, doch hängt die Genauigkeit des Resultates, wie Boltwood ausführt, wesentlich ab von einer vollkommenen Abscheidung des Ioniums, der Muttersubstanz des Radiums, aus den für den Versuch verwendeten Mineralien. Ist es nicht gelungen, das Ionium völlig abzuscheiden, so ergibt sich ein zu kleiner Wert von λ, bzw. ein zu großer Wert für die Halbwertsperiode des Radiums. Ein Fehler von 10 % in der Abscheidung würde bei der obigen Berechnung auf den Wert von nahezu $4{,}6 \times 10^{-10}$ statt auf $4{,}1 \times 10^{-10}$ führen.

Nach den durchgeführten Betrachtungen erscheint der Schluß wohlberechtigt, daß ein α-Teilchen die Ladung $2e$ mit sich führt, und daß der Wert von e selbst nur wenig von $4{,}65 \times 10^{-10}$ E.S.E. abweicht[1]).

Atomkonstanten.

Wir haben gesehen, daß die Zählung der α-Teilchen und die Messung ihrer Ladung uns die Berechnung der Ladung eines einzelnen α-Teilchens und der Ladung eines Wasserstoffatoms ermöglichte. Die Konstanten, die sich hieraus ergeben, mögen hier zusammengestellt werden:

Ladung eines Wasserstoffatoms	$4{,}65 \times 10^{-10}$ E.S.E.
Ladung eines α-Teilchens	$9{,}3 \times 10^{-10}$ E.S.E.
Zahl der Atome in 1 g Wasserstoff	$6{,}2 \times 10^{23}$,
Masse des Wasserstoffatoms	$1{,}61 \times 10^{-24}$ g.
Zahl der Moleküle in 1 ccm jeden Gases unter Normalbedingungen . . .	$2{,}72 \times 10^{19}$.

Die Natur des α-Teilchens.

Das Verhältnis von Ladung zur Masse $\frac{E}{M}$ wurde für das α-Teilchen durch Ablenkungs-

1) Es möge hier erwähnt werden, daß Planck für e den Wert $4{,}69 \times 10^{-10}$ theoretisch abgeleitet hat.

messungen im magnetischen und elektrischen Felde bestimmt[1]). Es ergab sich für $\frac{E}{M}$, in elektromagnetischen Einheiten gemessen, der Wert $5{,}07 \times 10^3$. Der entsprechende Wert für das Wasserstoffatom $\frac{\epsilon}{m}$, ist $9{,}63 \times 10^3$. Wir haben ferner bereits die Gründe eingehend besprochen, die es sicher erscheinen lassen, daß die Ladung E des α-Teilchens 2ϵ entspricht. Es ergibt sich somit die Masse des α-Teilchens $M = 3{,}84\, m$, d. h. das Atomgewicht eines α-Teilchens ist 3,84. Diese Zahl ist aber in naher Übereinstimmung mit dem Atomgewicht 3,96 des Heliums und der geringe Unterschied beider Zahlen läßt sich durch die Schwierigkeiten in der Bestimmung von $\frac{E}{M}$ leicht erklären.

Wir kommen also zu der Schlußfolgerung, daß das α-Teilchen ein Heliumatom ist, bzw. daß es zu einem solchen wird nach Verlust seiner positiven Ladung. Die sich hieraus ergebenden Folgerungen sind von einem von uns bereits diskutiert worden[2]).

Berechnung einiger wichtiger radioaktiver Daten.

1. Volumen der Emanation:

Beim Zerfall eines Radiumatoms wird ein α-Teilchen ausgesandt und es verwandelt sich damit das Radiumatom in ein Emanationsatom vom Molekulargewicht 222. Da nun $3{,}4 \times 10^{10}$ α-Teilchen pro Sekunde von einem Gramm Radium ausgesandt werden, so ist auch die Zahl der pro Sekunde sich bildenden Emanationsatome dieselbe. Nun ergab sich oben aus radioaktiven Daten, daß in jedem Gas unter Normalbedingungen pro ccm $2{,}72 \times 10^{19}$ Moleküle vorhanden sind. Das Volumen der pro Sekunde und Gramm erzeugten Emanation ist folglich $1{,}25 \times 10^{-9}$ ccm. Da nun das Volumen, das im Maximum in 1 g *Ra* vorhanden sein kann, gleich ist der Entstehungsgeschwindigkeit der Emanation dividiert durch ihre Halbwertsperiode $\lambda \left[\lambda = \frac{1}{468\,000}\right]$, so folgt, daß in einem Gramm Radium 0,585 cmm Emanation im Maximum vorhanden sein können.

2. Bildungsgeschwindigkeit von Helium:

Da das α-Teilchen mit einem Heliumatom identisch ist, so ist die Zahl der pro Sekunde und Gramm *Ra* im Gleichgewicht sich bildenden Heliumatome gleich $4 \times 3{,}4 \times 10^{10}$. Die Menge Helium, die sich somit aus einem Gramm Radium bildet, ist $5{,}0 \times 10^{-9}$ ccm per Sekunde, bzw. 0,43 cmm per Tag bzw. 158 cmm per Jahr. Eine genaue experimentelle Bestimmung der Entstehungsgeschwindigkeit von Helium aus Radium wäre von großem Interesse.

3. Wärmeeffekt des Radiums:

Da die kinetische Energie des ausgesandten α-Teilchens den wesentlichen Teil der von Radium abgegebenen Wärmemenge ausmacht, so läßt sich diese Wärmemenge einfach berechnen. Das umgekehrte Problem ist bereits behandelt worden und aus den dort angegebenen Zahlen folgt, daß der Wärmeeffekt rund 113 g/cal per Stunde betragen sollte.

4. Lebensdauer des Radiums.

Auch dieses Problem ist bereits besprochen. Es ergeben sich 1760 Jahre, wenn die Ladung des Wasserstoffatoms zu $4{,}65 \times 10^{-10}$ E.S.E. angenommen wird.

Zusammenstellung der wichtigsten Daten.

Ladung des α-Teilchens $9{,}3 \times 10^{-10}$ E.S.E.,
Zahl der α-Teilchen pro Sek. u. Gramm Radium allein $= 3{,}4 \times 10^{10}$,
Zahl der per Sek. zerfallenden Radiumatome $3{,}4 \times 10^{10}$,
Volumen der Emanation per Gramm Radium 0,585 cmm,
Erzeugung von Helium per Jahr und Gramm Radium 158 cmm,
Wärmeeffekt per Stunde und Gramm Radium 113 g/cal.
Lebensdauer des Radiums 1760 Jahre.

(Eingegangen 15. November 1908.)

1) Rutherford, Phil. Mag., Oktober 1906.
2) Rutherford, Radioactivity 2nd edition, p 479—486.

Bemerkung über α-Strahlen aus Radium *B* und über atmosphärische Radioaktivität.

Von Frederic A. Harvey.

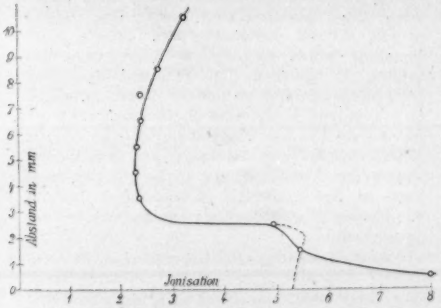
I.

Im Verlaufe einiger Untersuchungen über die Abfallsgeschwindigkeit des aus der Atmosphäre auf einem negativ geladenen Drahte gewonnenen radioaktiven Niederschlages ergaben sich Kurven, aus denen hervorging, daß die anfängliche Aktivität zum großen Teile von einer sehr leicht absorbierbaren Strahlung herrührte. Ein Kontrollversuch zeigte, daß hierfür nicht der aktive Niederschlag von Thorium verantwortlich sein konnte. Deshalb wurde ein Draht der Emanation aus verunreinigtem Radiumbromid ausgesetzt und der Versuch gemacht, die Reichweite dieser leicht absorbierbaren Strahlung direkt zu messen.

Die angewendete Methode war eine Modifikation der von Bragg und Kleeman[1]) benutz-

1) W. H. Bragg und R. Kleeman, Phil. Mag. (6) 10, 318, 1905.

ten. Die hauptsächlichsten Unterschiede bestanden in folgendem: Ein dünnes Aluminiumblättchen, das etwa einer 0,5 mm dicken Luftschicht gleichwertig war, wurde an Stelle des Drahtnetzes für die untere Platte der Ionenfalle benutzt. Dadurch wird jegliche Diffusion von Ionen von unten her verhindert und es werden zugleich die α-Teilchen nicht von einem großen Teil der Fläche des Blättchens abgeschlossen. Ferner war es notwendig, ohne das Röhrenbündel auszukommen, welches die senkrechte Aussendung gewährleistet; die auf Grund der oben genannten Kurven angestellte Berechnung hatte nämlich ergeben, daß die Reichweite zwischen 2,7 mm und 4,5 mm in Luft liegt. Die Ionisation wurde unter schrittweiser Änderung des Abstandes von 0 mm bis 10 mm um je 1 mm beobachtet. Die gewonnene Kurve (siehe Figur — die Kurve enthält die Korrektion für



den natürlichen Abfall) zeigt die Merkmale der α-Strahlenkurve und ergibt eine Reichweite von 2,6 mm bis 3,0 mm in Luft unter normalen Verhältnissen. Der Grund dafür, daß die Kurve diese Gestalt annimmt, und nicht die gestrichelt angedeutete, liegt darin, daß die Ionenfalle notgedrungen im Vergleich zur Reichweite tief ist.

Um festzustellen, von welchem Umwandlungsprodukt die Strahlen stammten, beobachtete ich den radioaktiven Niederschlag 30, 50, 60 und 140 Minuten nach Entfernung des Drahtes aus der Emanation. Nach 30 Minuten zeigt sich die Strahlung äußerst stark, nach 50 Minuten schwächer, nach 60 Minuten noch schwächer, und nach 140 Minuten überhaupt nicht mehr. Da sie sich nach 30 Minuten zeigt, kann sie nicht von Radium *A* herrühren. Da sie sich nach 140 Minuten nicht zeigt, kann sie nicht von Radium *C* herrühren. Es folgt daher, daß sie von Radium *B* herrühren muß.

Radium *B* sendet also α-Strahlen aus, deren Reichweite in Luft unter normalen Verhältnissen zwischen 2,6 mm und 3,0 mm liegt.

II.

Im folgenden teile ich einige Ergebnisse der Beobachtungen über den aus der Atmosphäre gewonnenen radioaktiven Niederschlag mit.

Ich benutzte das übliche Verfahren, den aktiven Niederschlag zu sammeln. Ich spannte einen etwa 38 m langen dünnen Kupferdraht ungefähr 5 m über dem Erdboden aus und hielt ihn mittels einer Wimshurst-Maschine oder eines Tropfenkollektors auf einem negativen Potential von rund 5000 Volt. Nach dreistündiger oder längerer Exposition würde der Draht eingeholt, rasch auf einen Rahmen gewickelt und in die Ionisierungskammer eines Elektroskops gebracht, an dem das Abklingen des Niederschlags 3 bis 24 Stunden lang verfolgt wurde.

Es ergab sich, daß die Halbwertperiode des Niederschlags nicht konstant 45 Minuten war, wie die früheren Forscher auf diesem Gebiete geglaubt hatten, sondern zwischen weiten Grenzen schwankte. Bei 26 unter sehr verschiedenartigen atmosphärischen Verhältnissen angestellten Beobachtungen schwankte die Halbwertperiode zwischen 34 Minuten und $5^2/_3$ Stunden. Die Halbwertperiode ist stark abhängig von dem Anteil der induzierten Thoriumaktivität.

Die Abklingungskurven lassen sich innerhalb der Versuchsfehlergrenzen von 2 bis 3 v. H. durch Zusammensetzung der bekannten Abklingungskurve für die induzierte Thoriumaktivität mit der für eine Mischung aus Radium *A*, *B* und *C* im Gleichgewichtsverhältnis erklären.

Sind der Gehalt an induzierter Thoriumaktivität und die Expositionszeit bekannt, so kann man einfach aus der Erholungskurve für Thorium *X*, das von aktivem Niederschlag und von Emanation frei ist, berechnen, welcher Anteil bei hinreichend langer Exposition bei einer Gleichgewichtsmischung erreicht werden würde. Die so berechneten Werte schwanken zwischen einem Mindestwert von 10,6 v. H. und einem Höchstwert von 75,8 v. H. Von 26 Expositionen ergibt sich der prozentische Anteil der induzierten Thoriumaktivität in 16 Fällen kleiner als 50 v. H. der Gesamtaktivität.

Es ergab sich, daß das Potential, bei dem die Exposition erfolgt, der Faktor ist, der den Anteil der induzierten Thoriumaktivität sehr stark beeinflußt. Ich machte zwei Expositionen unmittelbar nacheinander unter identischen atmosphärischen Verhältnissen; bei der einen war das Potential — 2000 Volt, bei der andern — 4000 Volt; der Anteil der induzierten Thoriumaktivität war im ersten Falle 11,6 v. H. und im zweiten 7,2 v. H. Hieraus erklärt sich der hohe Anteil, den Blanc[1]) in Rom erhalten hat. Blanc behauptet nämlich, daß dort der

1) G. A. Blanc, Phil. Mag. (6) **13**, 378, 1907.

Anteil zwischen 50 und 70 v. H. schwankt. Er verwandte ein Potential von nur — 500 Volt.

Weiter ergab sich, daß der Anteil der induzierten Thoriumaktivität sehr empfindlich gegen Barometerschwankungen ist. Ich nahm am gleichen Tage zwei Kurven auf, eine bei steigendem, die zweite bei rasch fallendem Barometer; die zweite Kurve zeigt einen größeren Gehalt an induzierter Thoriumaktivität. Jede Exposition dauerte drei Stunden, und der Prozentgehalt betrug bei Gleichgewicht am Drahte 17,8 bzw. 26,5. Die beiden Drähte waren nicht genau auf demselben Potential; aber dieser Unterschied würde eine Wirkung vom entgegengesetzten Sinne wie die beobachtete haben. Ebenso gilt das Umgekehrte. Eine plötzliche Drucksteigerung schneidet die Zufuhr des aktiven Niederschlags vom Thorium schneller ab als die vom Radium, wegen der kürzeren Lebensdauer der Thoriumemanation.

Ich möchte bei dieser Gelegenheit Herrn Professor E. P. Lewis für die freundliche Unterstützung bei meiner Untersuchung herzlichst danken.

Universität von Kalifornien, 27. Okt. 1908.

(Aus dem Englischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 11. November 1908.)

Über die Bewegung der freien Elektronen in den Metallen.

Von P. Gruner.

In einer kürzlich veröffentlichten Arbeit [1]), „Über eine Erweiterung der Lorentzschen Elektronentheorie der Metalle", hat der Verfasser den Versuch gemacht, die Erscheinungen der Ionisation und der Elektronenbindung für jene Theorie zu verwerten. Der leitende Gedanke dabei war, daß es auf diese Weise möglich sein müßte, durch bloße Annahme einer einzigen Elektronenart (der negativen), die sich in Wechselwirkung mit zwei Molekülarten (den neutralen und den positiven) befinde, gewisse elektrische und kalorische Erscheinungen in den Metallen eingehender zu beschreiben, als dies nach der Lorentzschen Theorie möglich war.

Selbstverständlich verlangt eine solche Erweiterung die Aufstellung einer Reihe von Hypothesen, die einen ziemlich künstlichen Charakter tragen und deshalb leicht zu Einwendungen Anlaß geben [2]). Ein solcher Einwand läßt sich zunächst gegen den Mechanismus der Ionisation und der Elektronenbindung erheben, insofern als derselbe nicht umkehrbar gewählt wurde, und es demnach kaum möglich sein dürfte, ein einwandfreies mechanisches Modell des Moleküls zu finden, das gleichzeitig die angenommenen Erscheinungen der Ionisation und diejenigen der Bindung aufweisen würde. Um diesen Bedenken Rechnung zu tragen, scheint es zweckmäßiger, überhaupt davon abzusehen, sich ein Bild jener Prozesse zu machen, und einfach die Ionisation und Bindung als Resultat eines nicht näher zu bestimmenden intramolekularen Vorganges, der lediglich durch die Temperatur der Moleküle bestimmt ist, anzusehen.

Ein weiterer Einwand läßt sich gegen die „spezielle Annahme" [1]) erheben. Dieselbe wurde in der Tat nur zu dem Zwecke eingeführt, die Rechnung möglichst einfach zu gestalten; sie sagt im wesentlichen aus, daß die Vorgänge der Ionisation und der Bindung immer im vollständigen Gleichgewicht bleiben, auch dann, wenn die Elektronenbewegung den Gleichgewichtszustand verlassen hat. Durch diese Annahme wurde es möglich, die einfache Beziehung (I) zwischen den neutralen und positiven Molekülzahlen zu finden. Diese Annahme wird aber von vornherein überflüssig, wenn wir uns auf den vorhin angegebenen allgemeineren Boden stellen, ohne Rücksicht auf den Mechanismus der Ionisation das Verhältnis der positiven zu den neutralen Molekülzahlen einfach als (vorläufig unbekannte) Temperaturfunktion einzuführen.

Die Erweiterung der Lorentzschen Theorie äußerte sich aber hauptsächlich in der Einführung einer neuen spezifischen Konstanten, der Grenzgeschwindigkeit G. Dieselbe stand allerdings in engem Zusammenhang mit dem Mechanismus der Ionisation, aber es scheint nicht schwierig, dieselbe auch unabhängig davon einzuführen.

Es ist ja sehr wahrscheinlich, daß der Zusammenstoß eines Elektrons mit einem positiven Molekül in anderer Weise verlaufen wird, als mit einem neutralen Molekül. Betrachtet man die positiven Moleküle als die normalen, durch den Elektronenstoß nicht weiter modifizierbaren Moleküle, so liegt es nahe anzunehmen, daß die Elektronen für alle Geschwindigkeiten nach den Gesetzen des elastischen Stoßes zurückgeworfen werden [2]). Die neutralen Moleküle mit ihrem nur lose gebundenen negativen Elektron müssen in anderer Weise reagieren. Wir nehmen an, daß bei kleinen Geschwindigkeiten die Elektronen auch an den neutralen Molekülen elastisch abprallen, daß sie aber bei

1) Verh. d. Deutsch. Physik. Ges. **10** (13), 509, 1908.

2) Den Herren Dr. Einstein und Dr. Sauter danke ich hier für ihre diesbezüglichen Bemerkungen bestens.

1) l. c. p. 514.

2) Freilich mag auch hier bei kleineren Geschwindigkeiten die Bindung der Elektronen in vorwiegendem Maße erfolgen, allein dieselbe wird durch die spontane Ionisation der neutralen Moleküle stets kompensiert.

größeren Geschwindigkeiten, oberhalb G, ungehindert durch das Molekül hindurchgehen.

Über die Art dieses Durchganges brauchen wir uns kein weiteres Bild zu machen: sei es, daß die Elektronen einfach ungestört durch die elektrisch neutrale Materie hindurchgehen können, sobald ihre Energie einen gewissen Grenzwert überschritten hat, sei es, daß das auftreffende Elektron dem gebundenen seine ganze Energie übertrage und es in gleicher Richtung aussende.

Auf diese Weise gelingt es, ohne die speziellen Bilder der früheren Arbeit festzuhalten, mit ganz allgemeinen Annahmen über die Bewegung der Elektronen in den Metallen, wesentlich dieselben Resultate zu erzielen, die in jener Arbeit hergeleitet wurden. Dies sei hier in Kürze ausgeführt.

Das Metall habe N unbewegliche Moleküle pro Volumeinheit, von denen bei der Temperatur T N_n Moleküle elektrisch neutral und N_p Moleküle positiv (mit der Elementarladung $+e$) seien. Die Radien ihrer Wirkungssphären, R_n und R_p, seien ebenfalls von der Temperatur abhängig. Im Metall befinden sich pro Volumeinheit $n = N_p$ negative Elektronen von verschwindend kleinem Durchmesser, mit der Elementarladung $-e$.

Die absolute Temperatur T wird gemessen durch die mittlere lebendige Kraft der Elektronen,

$$\alpha T = \frac{m u^2}{2}, \qquad (1)$$

wo u^2 das mittlere Geschwindigkeitsquadrat der Elektronen ist.

Das Verhältnis der bei bestimmter Temperatur vorhandenen neutralen und positiven Molekülzahlen, sowie das Verhältnis ihrer Radien, muß irgendeine Temperaturfunktion sein. Wir setzen:

$$\frac{R_p^2 N_p}{R_n^2 N_n} = \Phi(T). \qquad (2)$$

Φ muß für $T = 0$ Null werden und wächst mit zunehmendem T beständig an.

Für die Zusammenstöße der Elektronen mit den Molekülen gelten die Annahmen:

Die Zusammenstöße mit positiven Molekülen erfolgen stets nach den Gesetzen des elastischen Stoßes. — Die Zusammenstöße mit den neutralen Molekülen erfolgen unterhalb einer Geschwindigkeit G elastisch; oberhalb derselben durchsetzen die Elektronen die neutralen Moleküle ungehindert.

Im folgenden werden nur stationäre Zustände betrachtet, bei denen Variationen nur in einer Richtung, in der X-Richtung, stattfinden.

Ist v die Geschwindigkeit des Elektrons, ξ ihre Komponente in der X-Richtung, so setzen wir mit Lorentz die Zahl der Elektronen, die im Volumelement $d\tau$ und im Geschwindigkeitsbezirk dw liegen:

$$f \cdot d\tau \cdot dw = (A \cdot e^{-hv^2} + \xi \cdot \chi[v])\, d\tau \cdot dw. \qquad (3)$$

Hierbei ist $\chi(v)$ mit seinen Differentialquotienten als außerordentlich klein anzunehmen.

Für A und h ergeben sich die bekannten Beziehungen:

$$n = A\sqrt{\frac{\pi^3}{h^3}}; \quad u^2 = \frac{3}{2h}; \quad h = \frac{3m}{4\alpha T}. \qquad (4)$$

Wirkt eine Kraft mit der Beschleunigung X auf die Elektronen, und setzt man:

$$l = \frac{1}{\pi R_n^2 N_n + \pi R_p^2 N_p}; \quad l_p = \frac{1}{\pi R_p^2 N_p}, \qquad (5)$$

so folgt:

$$\left.\begin{aligned} f_1 &= A \cdot e^{-hv_1^2} \\ &\quad + l\left(2hAX - \frac{dA}{dx} + v_1^2 A \cdot \frac{dh}{dx}\right) \cdot \frac{\xi_1}{v_1} \cdot e^{-hv_1^2} \\ &\qquad \text{für } 0 < v_1 < G \\ f_2 &= A \cdot e^{-hv_2^2} \\ &\quad + l_p\left(2hAX - \frac{dA}{dx} + v_2^2 A \cdot \frac{dh}{dx}\right) \cdot \frac{\xi_2}{v_2} \cdot e^{-hv_2^2} \\ &\qquad \text{für } G < v_2 < \infty \end{aligned}\right\}. \qquad (6)$$

Diese Ausdrücke dienen zur Berechnung von:

$$\nu = \int_0^G \xi_1 f_1\, dw_1 + \int_G^\infty \xi_2 f_2\, dw_2 \qquad (7)$$

gleich Überschuß der Anzahl Elektronen, die pro Zeiteinheit durch eine senkrecht zur X-Achse stehende Fläche 1 im Sinne der positiven X-Achse hindurchtreten,

$$W = \frac{m}{2}\int_0^G \xi_1 v_1^2 f_1\, dw_1 + \frac{m}{2}\int_0^\infty \xi_2 v_2^2 f_2\, dw_2 \qquad (8)$$

gleich Überschuß der lebendigen Kraft, welche die durch eine senkrecht zur X-Achse stehende Fläche 1 tretenden Elektronen pro Zeiteinheit im Sinne der positiven X-Achse mit sich führen.

Zur Ausrechnung dienen folgende Substitutionen: g, k, p, S, U, V, die alle Funktionen sind von

$$z = hG^2 = \frac{a}{T}, \quad \text{wo } a = \frac{3m}{4\alpha}G^2. \qquad (9)$$

$$\left.\begin{aligned} e^{-hG^2}(hG^2 + 1) &= g \\ e^{-hG^2} \cdot \frac{h^2G^4 + 2hG^2 + 2}{2} &= k + g \\ e^{-hG^2} \cdot \frac{h^3G^6 + 3h^2G^4 + 6hG^2 + 6}{6} &= p + g \\ 1 + \frac{g}{\Phi} &= S \\ 1 + \frac{k+g}{\Phi} &= S + \frac{k}{\Phi} = U \\ 1 + \frac{p+g}{\Phi} &= S + \frac{p}{\Phi} = V \end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

Daraus ergeben sich die beiden Grundformeln für die Elektronenbewegung in Metallen:

$$\nu = \frac{2\pi}{3} l\left\{\frac{1}{h^2}\left(2hAX - \frac{dA}{dx}\right) S + 2\frac{A}{h^3} \cdot \frac{dh}{dx} \cdot U\right\} \qquad (11)$$

$$W = \frac{2\pi m}{3} l\left\{\frac{1}{h^3}\left(2hAX - \frac{dA}{dx}\right) U + 3\frac{A}{h^4} \cdot \frac{dh}{dx} \cdot V\right\} \qquad (12)$$

Es ergibt sich also formell ein ganz ähnlicher Ausdruck wie in der früheren Arbeit[1]), nur haben hier die Funktionen S, U, V eine andere Bedeutung.

Wenn alle Moleküle ionisiert sind, für $N_u = 0$, $\Phi = \infty$, wird $S = U = V = 1$, und es ergeben sich genau die bekannten Lorentzschen Ausdrücke.

Aus den obigen Formeln (11) und (12) folgen die verschiedenen Konsequenzen in derselben Weise, wie sie in der früheren Arbeit dargelegt wurden.

Für das spezifische elektrische Leitvermögen ergibt sich:

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{3\pi}}\, Slnu \cdot \frac{e^2}{a} \cdot \frac{1}{T}. \qquad (13)$$

Die Übereinstimmung mit den Beobachtungen verlangt, daß $Slnu$ von der Temperatur unabhängig sei, woraus nach (1), (2) und (5) folgt:

$$R_s^2 \sim S \cdot \frac{\Phi}{1+\Phi} \cdot \sqrt{T},$$

eine Bedingung, die erst dann kontrollierbar ist, wenn die Funktionen S und Φ bekannt sind.

Für das spezifische Wärmeleitvermögen ergibt sich:

$$k = \frac{8}{9}\sqrt{\frac{2}{3\pi}}\, lnu\, a\left(3V - \frac{2U^2}{S}\right). \qquad (14)$$

Daraus folgt für das Wiedemann-Franzsche Gesetz:

$$\frac{k}{\sigma} = \frac{8}{9}\left(\frac{a}{e}\right)^2 \cdot T \cdot \frac{3VS - 2U^2}{S^2}. \qquad (15)$$

Der Ausdruck für die Kontaktpotentialdifferenz[2]) an den Enden P und Q einer gleich temperierten metallischen Kette bleibt derselbe:

$$\varphi_Q - \varphi_P = \frac{2a}{3e} T \lg \frac{n_P}{n_Q}. \qquad (16)$$

Die thermoelektrische elektromotorische Kraft an den Enden eines Thermoelementes mit den Metallen I und II und mit den Lötstellentemperaturen T'' und T' wird:

$$E = \frac{2a}{3e}\int_{T'}^{T''}\left(\lg \frac{n_{II}}{n_I} - 2\,\frac{U_{II}}{S_{II}} + 2 \cdot \frac{U_I}{S_I}\right) dT. \qquad (17)$$

Für die Wärmeentwickelung in einem stromdurchflossenen Leiter, ohne Rücksicht auf die Joulesche Wärme und auf die gewöhnliche Wärmeleitung, folgt:

$$\frac{dQ}{dt} = +\,i\,\frac{2a}{3e} T \frac{d}{dx}\left(\lg A - \frac{2U}{S}\right) dx. \qquad (18)$$

Das Korrektionsglied, das den Lorentzschen Ausdrücken beizufügen ist, nimmt hier überall die Form $\frac{2U}{S}$ an. Setzt man die Funktion S konstant und gibt ihr den numerischen Wert 2, so nehmen die jetzigen Formeln genau dieselbe Form an wie die früheren, wobei aber festzuhalten ist, daß U nicht dieselbe Temperaturfunktion bedeutet, wie früher.

Eine numerische Prüfung der gewonnenen Ausdrücke ist natürlich nur dann möglich, wenn Anhaltspunkte für die Natur der Funktion Φ vorliegen.

Versuchsweise soll die vereinfachende Annahme eingeführt werden, daß die Temperaturfunktion S eine Konstante sei.

In (10) folgt dann:

$$S = 1 + \frac{G}{\Phi} = 1 + K,$$

woraus sich die Natur der Funktion Φ ergibt:

$$\Phi = \frac{G}{K} = \left(1 + \frac{a}{T}\right)\frac{e^{-\frac{a}{T}}}{K}, \qquad (19)$$

wo $a = \frac{3m}{4a} G^2$ nach (9).

Da g für $T = \infty$ den Wert 1 annimmt und mit abnehmendem T abnimmt bis zu Null, so muß K irgendeine positive Konstante sein. Über den numerischen Wert von K kann vorderhand willkürlich verfügt werden, so daß jedes Metall einen besondern Wert von K haben kann.

Infolgedessen ist es leicht möglich, den Ausdruck (15) so zu gestalten, daß das Verhalten der verschiedensten Metalle gegenüber dem Wiedemann-Franzschen Gesetze richtig dargestellt wird, und zwar innerhalb großer Temperaturintervalle.

Sofern man sich aber darauf beschränkt, das Verhalten des Ausdrucks $\frac{k}{\sigma}$ nur innerhalb des kleinen Temperaturintervalls von 0—100° C (für welches allein sichere Beobachtungsresultate vorliegen) durch den Ausdruck (15) darzustellen, so ist es möglich, mit einem einzigen Wert von K auszukommen, so daß möglicherweise K als universelle Konstante angesehen werden könnte.

Dies möge hier nur in allgemeiner Weise dargetan werden.

Wählen wir $K = 10$, so ergibt sich folgender Verlauf für den Korrektionsfaktor des Wiedemann-Franzschen Gesetzes, $\frac{3VS - 2U^2}{S^2}$:

$z = \frac{a}{T}$	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
$\frac{3VS-2U^2}{S^2}$	1,0	0,95	0,90	0,87	0,86	0,89	0,96	1,03

Für die Metalle, deren charakteristische Konstante a einen solchen Wert hat, daß für ge-

1) L. c. p. 524. Formeln 11) und 12).

2) In den nachfolgenden Ausdrücken ist nicht darauf Rücksicht genommen, daß e und i eigentlich negativ zu wählen sind.

wöhnliche Temperaturen (0°—100° C) die Variable z zwischen 1,5 und 2 liegt, wird das Wiedemann-Franzsche Gesetz als gültig angesehen werden können: der Korrektionsfaktor hat einen fast konstanten Wert.

Diejenigen Metalle, deren a so ist, daß bei mittleren Temperaturen z höhere Werte annimmt, von 3 an aufwärts, werden ein Verhalten aufweisen, wie es bei Wismut beobachtet wurde: das Verhältnis k/σ hat einen wesentlich größeren Wert, auch nimmt es nicht direkt proportional mit T zu, sondern langsamer.

Diejenigen Metalle endlich, deren a so klein ist, daß z für das gewöhnliche Temperaturintervall zwischen 0,5 und 1,0 liegt, zeigen dann ein Verhalten, wie es bei Platin und Palladium nachgewiesen ist: das Verhältnis k/σ hat einen größeren Wert als bei den normalen Metallen, allein es nimmt mit der Temperatur rascher zu, als bei denselben.

Die hier vorliegenden, modifizierten Formeln leisten also ebensoviel, ja noch mehr, als die früher abgeleiteten. Ein wirkliches Urteil über den Wert der Funktion Φ kann natürlich erst durch weitere Prüfungen erhalten werden.

Bern, 7. Dezember 1908.

(Eingegangen 8. Dezember 1908.)

Über eine Änderung an der Bernsteinisolation des Elektroskops nach Elster und Geitel.

Von Ernst Hochheim.

Als ich kurz nach dem Bekanntwerden des Aluminiumblattelektroskops nach Elster und Geitel selbst ein Elektroskop herstellte, das durch einen ausgedehnten, am Boden des Gehäuses festgeschmolzenen Paraffinblock sehr gut isoliert war, beobachtete ich, daß bei gleichzeitigem Erden des Gehäuses und der Blättchen letztere nicht ganz zusammenfielen. Das Feld des durch Schmelzen auch im Inneren stark negativ geladenen Paraffinblocks hielt die Blättchen in recht merklicher Divergenz.

In Fig. 1 sind die damals (durch Vergleich mit dem Elster-Geitel-Instrumente) erhaltenen, recht verschiedenen Eichkurven[1]) für positive (+ +) und negative (— —) Ladung der Blättchen eingetragen. Die endgültige, für positive und negative Ladungen zugleich geltende Eichkurve (0 0) erhielt ich erst nach Jahren, nachdem der Paraffinblock die starke, negative Eigenladung verloren hatte.

Die Eichkurve für positive Ladung (+ +) beginnt bei 50 Volt unter dem Einfluß des

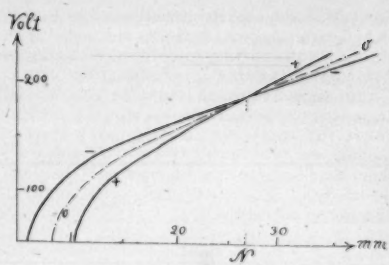


Fig. 1.

ausgedehnten, negativ geladenen Paraffinblocks bereits mit größerer Divergenz und steigt dann steiler an, während die Eichkurve für negative Ladung (— —) mit um so kleinerer Divergenz beginnt und viel weniger steil verläuft; nur bei der Divergenz N ist keine Feldwirkung des Paraffinblocks vorhanden.

Diesen störenden Einfluß der Eigenladung des Isolators, der von Zeit zu Zeit Neueichungen notwendig macht, bemerkte ich später, wenn auch in viel geringerem Maße, an dem Elster-Geitelschen Elektroskope selbst, besonders dann, wenn der anfangs völlig ladungsfreie, am Boden des Instruments eingelassene Bernsteinisolator samt Staubschutzplatte aus Bernstein von Sonnenstrahlen getroffen worden war[1]). Mehrere Tage danach war oft die Ladung des Bernsteinisolators noch so stark, daß ich bei der Messung einer konstanten Batterie von 200 Volt aus Divergenz und Eichkurve für den positiven Pol 215 Volt und für den negativen 185 Volt hätte annehmen müssen. Ähnlichen Einfluß der Isolatoreneigenladung habe ich auch an Quadrantenelektrometern beobachtet.

Die Beseitigung dieses Mißstandes gelang mir dadurch, daß ich die Staubschutzplatte aus Bernstein ersetzte durch ein auf das Elektroskopgestell unten angeschraubtes Metallblättchen, welches die beweglichen Aluminiumblättchen gegen das Feld des Bernsteins dauernd abschirmte. Die Herren Prof. Elster und Geitel waren so gütig, mich brieflich darauf aufmerksam zu machen, daß sie bei der ersten Konstruktion den Bernsteinisolator gegen fallenden Staub durch eine Metallplatte[2]) geschützt hätten, daß sie letztere aber später der Kapazitätsverminderung wegen durch eine Staubschutzplatte aus Bernstein ersetzt hätten. Ebert[3]) benutzte bei seinem Ionenzähler die ursprüngliche Elster-Geitelsche Konstruktion (Staubschutzplatte aus Metall); ob er später letztere

1) Die Eichkurven sind nur für Potentiale über 50 Volt in Fig. 1 eingetragen, weil für kleinere Potentiale die Ablesung unsicher ist.

1) Vgl. Melander, Ann. d. Phys. **21**, 118, 1906.
2) Elster und Geitel, diese Zeitschr. **1**, 12, 1899.
3) H. Ebert, diese Zeitschr. **2**, 662, 1901.

ebenfalls durch eine Bernsteinplatte (wie Elster und Geitel) ersetzt hat, ist mir unbekannt. Meine Beobachtungen zeigen, daß wegen der wechselnden Eigenladung der Isolatoren eine Staubschutzplatte aus Metall unbedingt erforderlich ist, wenn die Eichkurve für statische positive und negative Ladungen dauernd dieselbe sein soll; ohne Metallschutzplatte ist man (z. B. bei luftelektrischen Abfallsmessungen) empfindlichen Täuschungen ausgesetzt [1]).

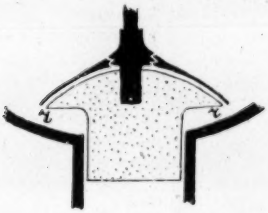


Fig. 2.

In Fig. 2 ist ein Achsenschnitt des Bernsteinisolators samt Staubschutzplatte aus Metall wiedergegeben, den die Firma Günther & Tegetmeyer (Braunschweig) an einem mir bereitwilligst zur Verfügung gestellten Elektroskope (Nr. 2384) nach meinen Angaben angebracht hat. Um den Widerstand des Isolators noch zu vergrößern und zugleich ein Verstauben noch wirksamer zu verhindern, wählte ich die viel mehr Oberfläche bietende Knopfform (statt Zylinder), an welche sich die abwärts gekrümmte Staubschutzplatte eng anschmiegt. Der eine scharfe Schneide bildende Rand r des Knopfes ist ein wirksamer Schutz gegen Bildung einer zusammenhängenden, leitenden Wasserhaut auf der hoch glänzenden Bernsteinoberfläche [2]); sollte bei längerem, offenem Gebrauche des Instruments die dabei verstärkte Wasserhaut doch über den stark konvexen Rand r kriechen, so bringt kurzdauernde *Na*-Trocknung die Wasserhaut bei r zum Reißen.

Während ein mit der bisherigen (zylindrischen) Isolation versehenes Instrument (Nr. 1726) einen stündlichen Abfall von 0,9 Volt (in geschlossenem Zustande) zeigte, war der Abfall bei der neuen, oben geschilderten Konstruktion (Nr. 2384, ebenfalls geschlossen) wochenlang 0,3 Volt pro Stunde; letzterer Wert stellt (bis auf einen geringen Bruchteil) den gesamten Elektrizitätsverlust durch das natürlich ionisierte Luftvolum des Elektrometergehäuses (bei Sättigungsstrom) dar; der eben erwähnte, sehr geringe Bruchteil des Verlusts ist durch den fast idealen Isolator verursacht. Der Widerstand der Isolatoren berechnet sich bei Nr. 1726 zu ca. $2 \cdot 10^{17}$ Ohm und bei Nr. 2384 zu ca. 10^{18} Ohm. Die Kapazität von 2384 (Gestell samt Aluminiumblättchen und Schutzplatte 6 cm) erfährt nur eine geringe Steigerung gegenüber derjenigen der bisherigen Instrumente.

Ich will noch bemerken, daß ähnliche Schutzvorrichtungen gegen störende Einflüsse der Isolatoren zu ganz anderen Zwecken schon angewendet wurden [1]), nämlich dann, wenn man statische Spannungszeiger zur Messung von Spannung, Stromstärke und Leistung von Wechselströmen benutzen wollte.

1) Dasselbe gilt für Quadrantenelektrometer und alle statischen Meßinstrumente; überall muß der messende, bewegliche Teil gegen sämtliche Isolatoren durch Metallumhüllungen abgeschirmt werden.

2) Lord Kelvin, Oberflächenspannung und Kondensation. Philos. Mag. (4) **42**, 448.

1) Vgl. H. Fischer, diese Zeitschr. **7**, 377, 1906; Heinke, diese Zeitschr. **7**, 512, 1906; Benischke, diese Zeitschr. **7**, 525, 1906; H. Schultze, Zeitschr. f. Instr. **27**, 65, 1907.

Marburg a. L., 1. Dezember 1908. Physikal. Institut der Universität.

(Eingegangen 7. Dezember 1908.)

Über eine Schaltungsvariante bei Hochfrequenzapparaten.

Von Friedrich Dessauer.

In der letzten Zeit hat die Benutzung von Strömen hoher Spannung und großer Frequenz eine immer größere Bedeutung, speziell für medizinische Zwecke gewonnen. So wurden neuerdings durch Versuche — von Dr. Strebel, München, und Dr. Keating-Hart in Paris — diese Hochfrequenzströme in großem Maßstabe zur Behandlung von Tumoren herangezogen. Zu diesem Zwecke ist es notwendig, Hochfrequenzfunken zu benutzen, welche, von einer metallischen Elektrode ausgehend, mehrere Zentimeter Luftstrecke durchschlagen können.

Um nun Hochfrequenzströme von großer Intensität und hinreichender Spannung auf rationellem Wege zu gewinnen, hat man in der Medizin neuerdings zweckmäßig einen nach Art der Funkeninduktoren gebauten Wechselstromtransformator mit einphasigem Wechselstrom verbunden (also ohne Vorschaltung eines Unterbrechers). Dieser Wechselstromtransformator speist eine Kapazität, deren Entladung durch eine Selbstinduktion und eine Funkenstrecke hindurch oszilliert. Eine Stelle dieses Schwingungskreises ist mit der Resonanzspule verbunden, so daß zwischen dem inneren und dem äußeren Schwingungskreise eine einfache elektrische Kuppelung vorliegt.

Durch ausgedehnte Versuche hat sich nun

ergeben, daß, um die sogenannten d'Arsonvalapparate zur Erzeugung medizinischer Hochfrequenzströme möglichst leistungsfähig zu machen, es zweckmäßig ist, die Selbstinduktion, durch welche die Entladung der Kapazität sich abspielt, so anzuordnen, daß sie sich zwischen zwei symmetrischen Funkenstrecken von gleicher oder nahezu gleicher Länge befindet.

In der Zeichnung 1 ist die neue Anordnung schematisch dargestellt, und zwar stellt

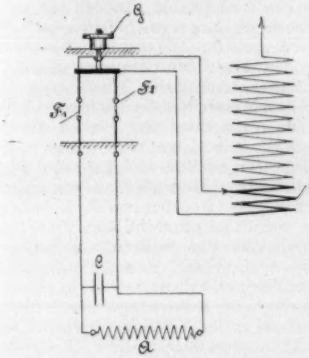


Fig. 1.

A die Sekundäre des Induktors dar. Es ist dies zweckmäßig ein nach Art der Funkeninduktoren gebauter Wechselstromtransformator. C ist die Kapazität, gewöhnlich eine Batterie Leidener Flaschen oder ein Petroleumkondensator. E stellt die Selbstinduktion dar. Wie sich aus der Figur ergibt, ist dies eine Stromschleife zwischen den zwei symmetrisch angeordneten Funkenstrecken F_1 und F_2. Nach der bisherigen Bauart dieser d'Arsonvalapparate war nun außer der Regulierung am Solenoid nur eine Regulierung zwischen den Spitzen einer Funkenstrecke möglich. Durch die symmetrische Anordnung der Funkenstrecke nach der vorliegenden Konstruktion wird die Möglichkeit einer Regulierung in weiteren Grenzen gegeben, da die beiden beweglichen Elektroden F_1 und F_2 durch die Kordelschraube G auf beliebige Entfernungen von den beiden feststehenden Elektroden eingestellt werden können. Damit die Funkenstrecken immer gleiche Länge haben, können die Elektroden zu einem gemeinschaftlichen Apparat ausgebildet werden.

Es ist nun geradezu überraschend, in welchem Maße die sekundäre Leistung am Resonanzsolenoid bei der Anordnung der symmetrischen Funkenstrecken zunimmt gegenüber irgendeiner der bekannten Schaltungen mit einer Funkenstrecke. Die sekundäre Spannung, die Länge der durch die Luft hindurchschlagenden Funkenbüschel wächst bei gleicher Wellenlänge um etwa 30 Proz. (geschätzt).

Die Wirkung tritt nur bei Betrieb des Hochfrequenzapparates mit direktem Wechselstrom ein. Bei Betrieb mit Funkeninduktor und Unterbrecher ist sie nicht vorhanden.

Man gewinnt den Eindruck, als ob die symmetrische Anordnung des Schwingungskreises zwischen zwei gleichen Funkenstrecken die Normalleistung des Apparates gebe, während bei Betrieb mit einer Funkenstrecke die Wirkung des einen Wechselstromstoßes erheblich

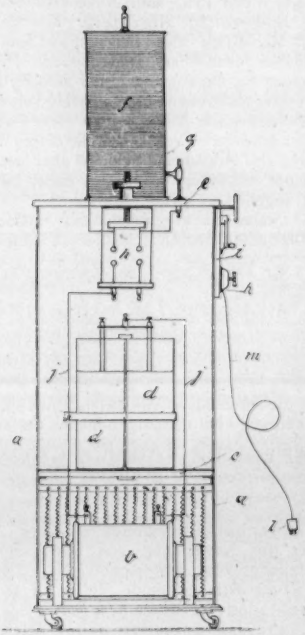


Fig. 2.

geschwächt wird. Fig. 2 stellt eine derartige medizinische Hochfrequenzrichtung dar.

Aschaffenburg, den 20. November 1908. Elektrotechn. Laboratorium der Vereinigten Elektrotechn. Institute.

(Eingegangen 30. November 1908.)

Eine Methode zur Erzeugung von Wechselströmen.

(Erwiderung an Herrn O. M. Corbino)[1].

Von Reinhold Rüdenberg.

Es freut mich, aus Herrn Corbinos Antwort in dieser Zeitschr. **9**, 704, 1908 zu ersehen, daß er seine Kritik an meiner früheren Veröffentlichung (diese Zeitschr. **8**, 668, 1907) nicht mehr aufrecht erhält. Auf die persönlichen Fragen, die Herr Corbino aufwirft, kann ich natürlich nicht eingehen.

Die Beziehungen, die ich in dieser Zeitschr. **9**, 556, 1908 für das günstigste Widerstandsverhältnis von Feld- und Ankerstromkreis angab, sind völlig allgemein. Ob dagegen beim Verändern des Belastungswiderstandes gegenüber dem Wert, für den die Dynamo berechnet ist, die Tourenzahl der Selbsterregung steigt oder sinkt, wenn man verschiedene Schaltungen anwendet, hängt — wie Herr Corbino selbst nachweist — von der Größe dieses Widerstandes ab. Allgemeine Schlüsse über den Vorteil einer Schaltung lassen sich daher hierüber nicht angeben.

Es wäre mir angenehm, auch meinerseits die Diskussion hiermit schließen zu können.

1) Wir schließen hiermit die Diskussion über diesen Gegenstand. Die Redaktion.

Charlottenburg, 28. November 1908.

(Eingegangen 30. November 1908.)

Über die Anwendung von Selendampf zur Herstellung von lichtempfindlichen Zellen.

(Bemerkung zur Arbeit von Wilhelm S. Gripenberg.)

Von Chr. Ries.

Gripenberg beschreibt in einer Arbeit „Über die Anwendung von Selendampf zur Herstellung von lichtempfindlichen Zellen“ [1] eine Konstruktionsmethode, die er für neu hält. Es heißt dort: „Anstatt flüssigen Selens kann man, wie ich gefunden habe, Selendampf benutzen, den man auf der kalten Oberfläche der Selenzelle kondensiert. Man erzielt hierdurch Schichten von außerordentlich geringer Dicke, welche außerdem ziemlich gleichförmig sind. Auf Glas haftet Selen in diesem Falle recht gut“. Dieses Verfahren ist nicht neu. Ich habe schon in meinem Buch über Selen [2] darauf hingewiesen, daß die erste Mitteilung über die Herstellung von Selenzellen mittels Selendämpfen von Reinganum[1]) stammt. Dieser verfuhr folgendermaßen: Ein Platinblech wird schwach mit Wasser angefeuchtet und kurze Zeit den dunkelgrünen Dämpfen von geschmolzenem Selen ausgesetzt. Es schlägt sich dann eine beliebig dünne zusammenhängende Selenschicht auf dem Platinblech nieder. Erhitzen in einem Luftbad verwandelt den Selenüberzug in die kristallinische Modifikation. Diese Platten wurden in elektrolytischen Zellen verwendet.

Seit dem Jahre 1906 habe ich nun nach dem Verfahren von Reinganum, das ich mit einer Methode von E. Liesegang[2]) kombinierte, Selenzellen hergestellt. Liesegangs Verfahren war folgendes: Ein Stück Glas wird versilbert und die Metallschicht durch einen möglichst feinen Strich mit einer Nadelspitze in zwei Teile geteilt. Die Verbindung der beiden Metallschichten wird dann durch eine dünne Selenschicht wieder hergestellt. — Ich habe nun diese Selenschicht durch Niederschlagen von Selendämpfen nach der Angabe von Reinganum hergestellt und dabei oft recht brauchbare Präparate erzielt, die man beiderseits beleuchten kann.

In der gleichen Arbeit von Gripenberg findet sich noch die Bemerkung: „Nach Marc soll Zusatz von Silber die Lichtempfindlichkeit erhöhen“. Demgegenüber möchte ich konstatieren, daß hier eine Verwechslung vorliegt, und auf folgende Stelle in meinem Buche (S. 25) hinweisen: „Die Behauptung Bidwells, daß Metallzusätze die Empfindlichkeit des Selens zu steigern vermögen, stimmt mit den Angaben einiger Forscher (Uljanin, Marc, Sperling) nicht überein. Nach Marc und Sperling ergibt sich durch Zusatz von Katalysatoren eine Verringerung der Lichtempfindlichkeit, aber auch zugleich eine bedeutende Vergrößerung der Einstellungsgeschwindigkeit in das Gleichgewicht. Aus letzterem Grunde dürfte sich trotzdem ein gewisser Zusatz eines geeigneten Katalysators für die Praxis empfehlen. Marc schlägt einen Zusatz von Silber in einer Menge von 0,1 bis 0,5 Proz. vor“.

1) Gripenberg, diese Zeitschr. **9**, 519, 1908.
2) Chr. Ries, Die elektrischen Eigenschaften des Selens und seine Bedeutung für die Elektrotechnik, S. 48. Berlin, Harrwitz, 1908.

1) Reinganum, diese Zeitschr. **7**, 786, 1906.
2) E. Liesegang, Photogr. Archiv 1890, 302; vgl. auch Chr. Ries, S. 13.

Uffenheim, 5. Dezember 1908.

(Eingegangen 7. Dezember 1908.)

Über Metallstrahlen.

Von Erik Buch Andersen.

Ein Phänomen, das in den letzten Jahren Anlaß zu einiger Diskussion gegeben hat, ist die Metallstrahlung. Bereits vom Jahre 1847

liegt ein Bericht von einem deutschen Physiker L. F. Moser vor, in welchem er von einer von ihm entdeckten Metallstrahlung spricht; doch erst in neuerer Zeit sind die Untersuchungen über diese Erscheinung wieder aufgenommen worden. Trotz der vielen Versuche, die, um Klarheit zu schaffen, gemacht sind, ist es doch, wegen der Uneinigkeit der verschiedenen Forscher und der Nichtübereinstimmung ihrer Resultate, bisher unmöglich gewesen, eine exakt durchgeführte Theorie für diese Eigenschaft der Metalle aufzustellen. Da die Wirkung ja mittelst der photographischen Platte nachgewiesen wird, ist besonders der Umstand irreleitend gewesen, daß die Strahlen nicht mit gleicher Kraft auf alle photographischen Platten wirken, indem der Gebrauch verschiedener Sorten von diesen zu verschiedenen Resultaten führt. Am unempfindlichsten waren die Lumière-Platten, am besten zum Nachweis der Strahlen die Agfa-Platten. Darüber sind indessen die meisten Forscher einig geworden, daß die Strahlung immer von Ozon begleitet ist, indem die Metalle auch Jodkaliumstärkepapier färbten. Dieser Umstand hat auch zu einigen Irrtümern geführt; einige Forscher haben angenommen, daß überhaupt keine Strahlung vorliege, sondern daß die Wirkungen ausschließlich auf das Ozon zurückzuführen seien. J. Blaas und P. Czermak[1]) haben jedoch bewiesen, daß dies nicht der Fall ist, daß die Wirkungen von spiegelnden Flächen zurückgeworfen wurden, und daher nicht rein chemischer Natur sein konnten; andere nahmen an, daß das Ozon mit der Feuchtigkeit der Luft Wasserstoffsuperoxyd bildete, das ja, wie bekannt, auch Strahlen aussendet oder wenigstens Einwirkung auf die photographische Platte hat[2]), indem sie beobachteten, daß Ozon in vollkommen trockenem Zustande nicht die geringste Einwirkung auf die photographische Platte hatte[3]). Diese letztere Theorie liegt meiner Meinung nach der Wahrheit ziemlich nah, denn meine Anschauung, die sich auf später zu erwähnende Versuche gründet, ist, daß es zwar Ozon ist, das die Einwirkung auf die photographische Platte verursacht, daß dies Ozon aber auf eine andere Weise, als früher angenommen, gebildet wird.

Nicht alle Metalle haben dieselbe Wirkung; es hat sich erwiesen, daß die Strahlung eines Metalls um so größer ist, je stärker elektropositiv das Metall ist. Besonders haben vier Metalle eine kräftige Wirkung, nämlich Magnesium, Aluminium, Zink und Kadmium, und Versuche haben konstatiert, daß die Wirkung in derselben Reihenfolge abnimmt, also eben mit ihrem elektropositiven Charakter zusammen. Hiernach könnte man ja aber annehmen, daß Metalle wie Cäsium, Rubidium, Kalium und Natrium eine sehr kräftige Wirkung auf die photographische Platte haben müßten, was man aber bisher nicht hat nachweisen können; dieser Umstand beruht darauf, daß sie sich, wenn man sie der Luft aussetzt, augenblicklich mit einem Überzug von Oxyd bedecken, und daß die Strahlung, wenn von elektropositiven Metallen die Rede ist, nur von blanken Oberflächen ausgeht; man hat wohl Versuche zum Nachweis der Strahlen unter Petroleum, Petroläther usw. gemacht, die Resultate sind aber negativ gewesen, weil das Petroleum die Platte angriff.

Ich habe früher bemerkt, daß die Strahlung der elektropositiven Metalle nur von blanken Oberflächen ausgeht; bei den elektronegativen Metallen gehen die Strahlen dagegen nur von matten Oberflächen aus; worauf dieses beruht, ist noch unbekannt.

In ihrer Abhandlung über Photechie bemerken J. Blaas und P. Czermak[1]), daß die Wirkung des Zinks, wenn das Metall mit einer dünnen Glyzerinschicht überzogen und dann berußt wird, sich im hohen Grade vermehrt. Diese Verstärkung schreiben sie der dadurch entstandenen unebenen und rauhen Oberfläche zu, indem sie mit mehreren Forschern die Anschauung teilen, daß die Strahlung mit der Oxydation des Metalls zusammenhängt.

Als ich im Winter 1907/8 mit diesen Phänomenen experimentierte, fand ich, daß nicht nur die Strahlung des Zinks, sondern auch die des Magnesiums und die der anderen elektropositiven Metalle vermehrt wird, wenn sie mit einer Schicht von Ruß oder Graphit überzogen werden; ich kam daher zunächst zu der Schlußfolgerung, daß der Kohlenstoff selbst eine Strahlung aussandte, die mit der des Zinks vereinigt, die vergrößerte Wirkung verursachte. Ich machte deshalb einige Versuche, um das Verhalten des Kohlenstoffes zu untersuchen, ich fand aber durchaus nichts, was auf eine Strahlung hätte deuten können. Um indessen eine Lösung der Frage zu erhalten, durchsuchte ich die Literatur und fand in einer Abhandlung von F. Streinz und O. Strohscheider[2]), was ich brauchte. Sie schrieben nämlich ganz einfach die Strahlung der galvanischen Wirkung zwischen den Körpern zu. Daß diese Anschauung richtig war, bewiesen sie durch Versuche mit anderen Körpern, z. B. Blei und Magnesium; diese Körper

1) Diese Zeitschr. **5**, 363, 1904.
2) Diese Zeitschr. **4**, 271, 1903; Ber. d. Deutsch. phys. Ges. **3**, 53, 1905 und **3**, 78, 1905.
3) Daß Ozon eine Wirkung auf die photographische Platte hat, hat P. Villard im Jahre 1902 gezeigt (Bull. soc. franç. Phys. Nr. 175).

1) Diese Zeitschr **5**, 361, 1904.
2) Annalen der Physik (4) **18**, 198, 1905.

haben ja ebenfalls einen ziemlich großen elektrischen Unterschied, und die Regel paßte dann auch hier.

Die Eigenschaften der Strahlen an sich sind indessen merkwürdig und recht unerklärbar. Beispiele können dieses am besten zeigen. Legt man eine blankpolierte Nickelmünze[1]) auf eine photographische Platte, so kann man nach einem Verlauf von 24 Stunden ein ziemlich merkwürdiges Bild entwickeln, indem diejenigen Teile der Münze, die der photographischen Platte am fernsten gelegen haben (der Grund der Münze also), die Platte am stärksten beeinflußt haben, wogegen die Teile, die mit der Platte im Kontakt gewesen sind (Buchstaben und Zahlen), fast keine Wirkung gehabt haben. Auf dem positiven Bild sieht man also eine helle Münze mit dunkeln Buchstaben und Zahlen. Ferner können die Strahlen von spiegelnden Flächen zurückgeworfen werden, was J. Blaas und P. Czermak bewiesen haben. Dagegen besitzen sie nur ein geringes Durchdringungsvermögen, indem sie z. B. vom dünnsten Glas zurückgehalten werden, und die Wirkung, wenn der Abstand vergrößert wird, sehr schnell abnimmt. Zeichnet man einen dicken Graphitstrich auf eine polierte Zinkplatte und stellt diese mit dem einen Ende auf eine photographische Platte, mit dem andern auf ein Klötzchen, das so hoch ist, daß der Winkel zwischen dem Zink und der Platte ca. 10° ist, so kann man auf dem entwickelten Bilde sehen, wieviel die Wirkung abnimmt, und gleichzeitig, wie auffallend verwischt das Bild gegen das von dem Zink am weitesten entfernten Ende der Platte ist. Kahlbaum und Steffens[2]) meinen ja auch, daß die Strahlen der Wirkung der Schwerkraft unterworfen sind.

Wie schon erwähnt, meint man, daß die Strahlung mit der Oxydation der Metalle zusammenhängt, indem sie nur von reinen Oberflächen ausgeht. Da die Oxydation nun durch die galvanische Wirkung beschleunigt wird, wird gleichzeitig die Strahlung vermehrt, und muß also eine Funktion der Schnelligkeit der Oxydation sein. Dieses paßt ja auch sehr gut, denn ein Metall oxydiert sich um so schneller, je elektropositiver es ist, also müssen die elektropositivsten der Metalle die stärkste Strahlung aussenden.

Weitere Beweise dafür, daß die Oxydation und die Strahlung untrennbar verbunden sind, hat man in den Tatsachen, daß die Strahlung weder in einer Wasserstoffatmosphäre, noch in einem luftleeren Raum, sowie auch nicht in vollkommen trockner Luft vor sich geht; in diesen Fällen kann sich das Metall ja nicht oxydieren, weil in den beiden ersteren überhaupt kein Sauerstoff da ist, und im dritten das Reaktionsvermögen dem Sauerstoff fehlt; wenn sich also die Metalle nicht oxydieren können, findet keine Ausstrahlung statt.

Da chemische Prozesse ja in der Regel von physikalischen Phänomenen begleitet sind, würden meiner Meinung nach die oben erwähnten Tatsachen gut erklärt werden, wenn man annehmen würde, daß eine diffuse Strahlung während der Oxydation der Metalle von ihrer Oberfläche ausginge, die nur geringes Durchdringungsvermögen besäße, und welche die Eigenschaften hätte, von spiegelnden Flächen zurückgeworfen zu werden und in Analogie mit den Becquerelstrahlen Sauerstoff in Ozon umwandeln zu können. Diese Theorie stütze ich besonders auf folgenden Versuch: Auf ein Stückchen Jodkaliumstärkepapier wird eine kleine, dicke, kreisrunde Zinkplatte, die nur auf der einen Fläche poliert ist, mit der nichtpolierten Fläche gegen das Papier hinabwendend angebracht (um vor Strahlen ganz sicher zu sein, ist es besser, die nichtpolierte Fläche und die Kanten mit schwarzem Papier zu überkleben), und auf die Zinkplatte wird eine konvexe Linse gelegt, von welcher eine Hälfte von der gegen das Zink gewendeten Fläche ebenfalls mit schwarzem Papier überklebt ist. Untersucht man nach 24 Stunden das Jodkaliumstärkepapier, so wird man auf diesem einen dunklen Schatten, der wie ein Halbkreis geformt ist, sehen, und dessen Lage gerade unter der blanken Hälfte der Linse ist; er ist also von den zurückgeworfenen Strahlen hervorgerufen worden. Da es aber ganz sicher nachgewiesen ist[1]), daß es Ozon ist, das hier wirksam ist, muß dasselbe während des Ganges der Strahlen durch die Luft gebildet sein. Bisweilen kann sich doch auch auf der anderen Seite eine schwache Andeutung eines Halbzirkels zeigen, indem ja auch hier trotz der geringen Luftschicht, durch die die Strahlen gehen (von der Oberfläche des Zinks zu dem schwarzen Papier auf der Linse, wo sie absorbiert werden), etwas Ozon gebildet wird, das wegen seiner Schwere auf das Jodkaliumstärkepapier niedergefallen ist, und dieses ein wenig gefärbt hat.

Wie oben erwähnt, haben Kahlbaum und Steffens gefunden, daß die Strahlen der Wirkung der Schwerkraft unterworfen sind, dies wird durch meine Theorie sehr einfach erklärt, indem es nicht die Strahlen sind, sondern das gebildete Ozon, das von der Schwere abhängig ist.

Da die Strahlen, wie man aus der Zurück-

1) Nickel, Kobalt, Blei und Zinn senden auch eine, wenngleich schwache, Strahlung aus.

2) Diese Zeitschr. **6**, 53, 1905.

1) Mittels Papier, das mit einer alkalischen Lösung von *m*-Phenylendiamin getränkt ist.

werfung sehen kann, geradlinig fortschreiten, haben natürlich viele versucht, Schattenbilder auf einer photographischen Platte zu bilden, indem sie zwischen die Platte und das Metall, das die Strahlen aussandte, verschiedene Metallgegenstände hielten; die Resultate sind jedoch immer negativ gewesen, denn das Bild war entweder stark verwischt oder es blieb ganz aus. Sie behaupteten daher, daß die Metalle nicht eine Strahlung, sondern einen Dampf, eine Art neuer Emanation aussenden, welche die Wirkung hervorbringen. Dieses Phänomen wird aber sehr leicht erklärt, indem die Verwischung oder das Ausbleiben des Bildes eine Folge der Diffusion des Ozons in der Luft resp. seines Verwehens durch zufällige Luftströmungen ist. Die Beobachtung, die einige Forscher gemacht haben, daß die Strahlung durch eine Luftströmung sollte gebeugt werden können, brauche ich nicht zu erwähnen.

Ich kann in dieser kurzen Bemerkung über die Metallstrahlen nicht alle Phänomene, die beobachtet sind, erwähnen und erklären, das würde zu viel Platz nehmen; so viel aber erscheint mir sicher, daß sie mittels der von mir dargelegten Theorie auf eine logische und einfache Weise erklärt werden können.

Kopenhagen, 23. Oktober 1908.

(Eingegangen 1. November 1908.)

Der Spiegelderivator und seine Anwendung.

Von A. Wagener.

Bei der Auswertung der Ergebnisse physikalischer und technischer Untersuchungen begegnet man verhältnismäßig oft der Aufgabe, die Ableitung einer indizierten Diagrammlinie oder einer im normalen Koordinatensystem aufgezeichneten Kurve zu finden. Erscheint es dann angebracht, für eine größere Anzahl von Kurvenpunkten den Richtungskoeffizienten auf graphischem Wege zu ermitteln, so bedient man sich zweckmäßig zur Bestimmung der Tangente oder der Normalen besonderer Hilfsmittel. Ein solches, das Kurvenlot, ist vom Verfasser an anderer Stelle[1]) beschrieben worden. Dieses Gerät hat sich bei der Auswertung von Kurven sehr geringer Strichstärke, wie sie von registrierenden Instrumenten mit feingespitztem Metall-Schreibstift auf eigens vorgerichteter Schreibfläche gezeichnet werden, wohl als brauchbar bewährt, wohingegen seine Verwendung bei fast allen von Hand aufgezeichneten Kurven durch deren größere Strichstärke erschwert ist, und dies nicht selten in solchem Maße, daß die Genauigkeit der Ermittlung beträchtlich darunter leidet. Hier dürfte nach einem meines Wissens erstmalig von Professor Reusch angewandten Verfahren zur Bestimmung der Normalen ein Planspiegel bessere Dienste leisten, wie solche von Herrn Universitätsmechaniker Albrecht in Tübingen hergestellt worden sind: ein dreiseitiges Prisma aus schwarzem Glas, von dessen ebengeschliffenen Flächen eine hochpoliert ist. Den meist recht empfindlichen Metallspiegeln gegenüber haben derartige Glasspiegel den Vorzug, daß sie sich mit geringer Mühe fast unbegrenzt in fehlerfreiem Zustand erhalten lassen, während jene die Annehmlichkeit einer erheblich grösseren Lichtstärke des Bildes gewähren. Schneidet man mit einem solchen normal zur Bildebene gerichteten Planspiegel die zu untersuchende Kurve, so bildet deren vor dem Gerät sichtbares Stück im allgemeinen mit seinem Spiegelbild einen Knick. Diesen kann man aber, wie in Fig. 1 gezeigt ist, durch geeignete Einstellung

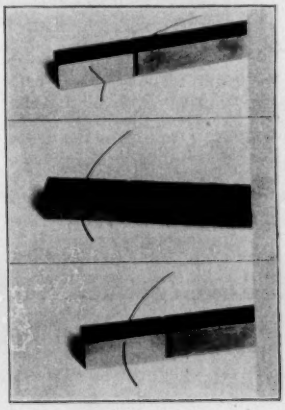


Fig. 1.

des Spiegels zum Verschwinden bringen, wonach die schneidende Spiegelkante normal zur Kurve steht und behufs Einzeichnung der Normalen als Lineal benutzt werden kann. Das Verfahren an sich läßt sich bei allen Kurven, die keine zu scharf gekrümmten Elemente enthalten, mit verhältnismäßig gutem Erfolge anwenden, doch ergeben sich beim Gebrauch des erwähnten sehr einfachen Hilfsmittels störende Unzulänglichkeiten, sobald an die Genauigkeit der Ermittlung höhere Ansprüche zu stellen sind und zur Erlangung von Mittelwerten die Einstellung des Spiegels für jeden betrachteten Kurvenpunkt mehrmals wiederholt werden muß.

1) Indizieren und Auswerten von Kurbelweg- und Zeitdiagrammen. Berlin, Julius Springer. 1906.

Denn einerseits ist es nicht leicht, mit der schneidenden Spiegelkante stets denselben Kurvenpunkt zu treffen, und andererseits bedeckt sich die Zeichnung bald mit Scharen dichtgedrängter Hilfslinien, bei deren Entwirrung es nicht allemal ohne Fehler abgeht. Um diesen Übelständen abzuhelfen, wurde vom Verfasser der im folgenden zu beschreibende Spiegelderivator konstruiert. Dieses Instrument wird von der Firma F. Ernecke in Berlin-Tempelhof hergestellt, der die Konstruktion übergeben worden ist; Fig. 2 und 3 zeigen photographische Abbildungen eines für das Maschinenlaboratorium der Kgl. Technischen Hochschule Danzig gelieferten Exemplars.

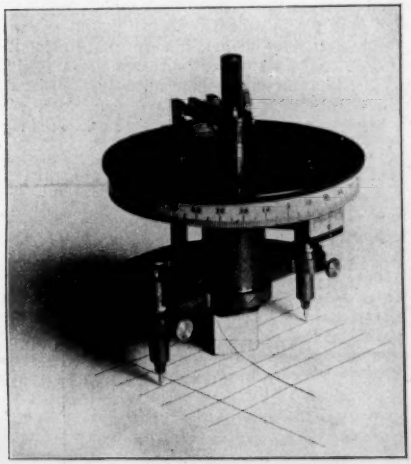


Fig. 2.

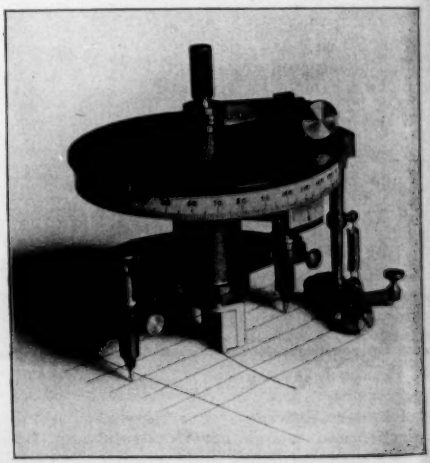


Fig. 3.

Der Spiegel ist mit einer sauber gelagerten Spindel derartig verbunden, daß deren Achse in seine Ebene fällt, und die Hülse, in der sich die Spindel dreht, wird von einer auf drei Füßen ruhenden Grundplatte getragen. Zwei davon laufen in Zentralspitzen aus, und diese liegen mit der Spindelachse in einer Ebene. Oberhalb der Hülse ist die Spindel mit einem Meßrade verbunden, auf dessen Mantel eine nach ganzen Winkelgraden geteilte Skala angebracht ist, während am Gestell des Gerätes ein Doppelnonius sitzt, mit dessen Hilfe die Drehung der Spindel an der erwähnten Skala nach Zehntelgraden abgelesen werden kann. Dabei ist die Skala so beziffert, daß nach richtiger Einstellung des Spiegels sowohl für positive wie für negative Kurvensteigung der von der Tangente und der X-Achse eingeschlossene Winkel abgelesen wird. Hierfür muß natürlich das Gerät vorher auf den zu betrachtenden Kurvenpunkt so eingestellt worden sein, daß es nach dem Achsenkreuz des Diagramms orientiert ist, und dies läßt sich folgendermaßen leicht bewirken.

Von den beiden Zentralspitzen der in Fig. 2 und 3 sichtbaren Gestellfüße werde die linke mit S_1, die rechte mit S_2 bezeichnet. Der Abstand jeder dieser Spitzen von der Spiegelebene kann gemessen werden, wenn die Skala des Meßrades auf 90^0 eingestellt ist. Dieser Abstand der Spitze S_1 sei η. Dann bereitet man das Diagramm oder die aufgezeichnete Kurve in der Weise vor, daß man eine ausreichend erscheinende Anzahl von Punkten auswählt, deren Ordinaten zieht und auf diesen den in einen Teilzirkel genommenen Abstand η von der Kurve einsticht. Auf die so erhaltenen Punkte setzt man nachher die Spitze S_1, während S_2 jeweilig auf die Verlängerung der Ordinaten zu stehen kommt. Die in der Höhe verstellbaren Spitzen sind so gerichtet, daß man sie etwas in die Zeichenfläche eindrücken muß, um den Spiegel mit dieser in Berührung zu bringen. Ist dies geschehen, so steht das Gerät in richtiger Lage unverrückbar fest, und die verlängerte Spindelachse trifft den zu betrachtenden Kurvenpunkt. Die nun folgende Einstellung des Spiegels und Ablesung des Neigungswinkels ν der Tangente kann beliebig oft wiederholt werden, und man erzielt bei einiger Übung ohne viel Mühe und Zeitverlust mit den

aus den einzelnen Ablesungen für jeden Punkt gewonnenen Mittelwerten so gute Annäherungen, wie sie mit dem Verfahren überhaupt erlangt werden können.

Die gesuchten Differentialquotienten berechnet man entweder nach einer Tangententabelle, um sie in ein neues Koordinatensystem einzutragen, wo man schließlich noch eine Interpolation vornimmt, oder sie lassen sich auch graphisch ermitteln. Das Meßrad ist nämlich dem Nullpunkt der Skala diametral gegenüber mit einem Arm versehen, der eine bewegliche Punktiernadel trägt. Stellt man für den betrachteten Kurvenpunkt die Skala auf den Mittelwert einer Anzahl von Ablesungen ein, so kann mit Hilfe der Punktiernadel ein Richtpunkt in die Zeichenfläche gestochen werden, der zusammen mit dem Kurvenpunkt die Lage der Tangente bestimmt. Ebenso läßt sich auch nach einer Drehung der Spindel um 90^0 ein Richtpunkt für die Normale einstechen. Die Anordnung der Punktiernadel und des sie tragenden Armes ist aus der Abbildung Fig. 3 zu erkennen. Erwähnt sei noch, daß für die erstmalige Einstellung des Meßrades, des Nonius und der Punktiernadel Justiervorrichtungen vorgesehen sind, und daß die Justierung sich nach einem normalen Achsenkreuz unschwer bewirken läßt.

Es leuchtet wohl auf den ersten Blick ein, daß die Genauigkeit einfacher objektiver Meßmethoden von diesem Verfahren bei weitem nicht erwartet werden kann. Das hier abgebildete Instrument ist in der Weise geprüft worden, daß eine Anzahl verschiedenartiger Kegelschnitte untersucht wurde, darunter Kreise mit verschieden großen Radien, deren kleinster 10 mm maß. Dabei wurden für eine größere Anzahl von Punkten die Mittelwerte von ν aus je 10 Ablesungen bestimmt und danach jedesmal nach Einstellung der Punktiernadel auf die vorher genau konstruierten Normalen die Winkel ν' gemessen, die diese mit der X-Achse einschlossen. Die Unterschiede zwischen $\nu + \nu'$ und 90^0 wurden als Fehler angeschrieben. Hierbei sind also die bis jetzt nicht geprüften Teilungen der Meßradskala und des Nonius als fehlerfrei vorausgesetzt worden. Fehler von mehr als $0{,}4^0$ kamen auch anfänglich bei noch geringerer Übung nicht vor, und die letzten Versuche dieser Art ergaben Fehler von höchstens $0{,}3^0$ und durchschnittlich $0{,}2^0$, so daß wohl mit diesem Durchschnitt gerechnet werden darf. Die ihm entsprechenden Fehler der Werte von tg ν werden natürlich für Winkel nahe bei 0^0 und 90^0 sehr groß, nehmen aber nach einem Bereiche hin, der zwischen etwa 20^0 und 70^0 liegt, rasch ab und bewegen sich in diesem um 1 v. H. Viel günstigere Ergebnisse dürften auch wohl mit irgendeinem anderen graphischen Verfahren kaum zu erreichen sein. Man wird also gut tun, auf die Untersuchung solcher Kurvenzweige, deren Tangentenneigung ν außerhalb des genannten Bereiches kleiner Fehler liegt, ganz zu verzichten. Nun hat man es glücklicherweise bei den an Maschinen zu indizierenden Diagrammen fast immer in der Hand, durch passende Einregelung der Schreibflächengeschwindigkeit die auszuwertende Kurve hinsichtlich ihrer Steigung in diesem Bereich zu halten, und wo dies ausnahmsweise nicht gelingen sollte, kann man sich noch derartig helfen, daß man die gleiche oder annähernd gleiche Änderung mehrmals bei verschiedenen Geschwindigkeiten der Indikator-Schreibfläche indiziert und dann auf den einzelnen Diagrammen die jeweilig am günstigsten liegenden Kurvenstücke herausgreift. Ähnliches läßt sich, wenn auch in minder vollkommener Weise, bei den Kurven, die von Hand aufgezeichnet werden, durch geeignete Wahl des Abszissen-Maßstabes erreichen.

(Eingegangen 5. Dezember 1908.)

Über die Herstellung permanenter Magnete aus Proben nahezu reinen Kupfers.

Von J. G. Gray und A. D. Roß.

Die Metalle Eisen, Nickel und Kobalt zeigen so ausgeprägte magnetische Eigenschaften, daß man gemeinhin sagt, sie bilden die Gruppe der magnetischen Elemente. Wie indessen wohlbekannt ist, zeigen die meisten anderen Elemente bei Anwendung eines sehr starken Feldes und empfindlicher Beobachtungsmethoden einige Empfänglichkeit für die Wirkung des Magnetismus und nehmen durch Influenz magnetische Polarität an. Der permanente Magnetismus, den sie zurückbehalten, ist indessen fast oder ganz unmerklich; die übliche Einteilung der Stoffe in eine „magnetische" und eine „unmagnetische" Gruppe ist daher genügend begründet.

Bisher ist keine wesentliche Verschiedenheit zwischen den Metallen der magnetischen und denen der unmagnetischen Klasse nachgewiesen worden. Kürzlich hat sich gezeigt, daß Legierungen aus verschiedenen Gliedern der letztgenannten Gruppe viel ausgesprochenere magnetische Eigenschaften zeigen können als ihre Bestandteile. Einen derartigen Stoff haben wir in der Heuslerschen Legierung aus Kupfer, Mangan und Eisen.

Es schien daher möglich, daß die magnetischen Eigenschaften der reinen Substanzen durch besondere Behandlung bedeutend verstärkt werden könnten. In dieser Absicht haben wir die nachstehenden Versuche an Kupfer unternommen. Wir haben dieses Element teils

wegen seiner allgemeinen Wichtigkeit, teils auch deshalb gewählt, weil es ein Bestandteil der Heuslerschen Legierung ist.

Zur Magnetisierung der Proben diente der große Elektromagnet des Physikalischen Laboratoriums der Universität Glasgow. Der Magnet besteht aus Gußstahl von einer Permeabilität, die nahezu mit der von Schmiedeeisen zusammenfällt. Er ist von rechteckiger Gestalt, etwa 100 cm lang und 40 cm hoch. Das Joch ist seiner ganzen Länge nach noch außer den kleinen Spulen an den Polen umwunden. Obgleich die konischen Polschuhe weit auseinander gezogen werden mußten, um für die Proben und die verschiedenen bei den Versuchen benutzten Gefäße Platz zu bieten, wurde doch mit einer Stromstärke von ungefähr 15 Ampere ein Feld von beträchtlich mehr als 3000 C.G.S.-Einheiten erhalten.

Bei den ersten Versuchen verwandten wir Proben von Kupfer mit hoher Leitfähigkeit. Ein kurzer Stab wurde longitudinal zwischen die Pole des Elektromagnets gebracht, und es wurde ein Feld von 3000 Einheiten angewandt. Danach wurde die Probe mit einem empfindlichen Magnetometer untersucht, und keine Spur von remanentem Magnetismus war nachweisbar. Die Magnetisierung wurde wiederholt und der Stab, während er im Felde lag, gehämmert, so daß die Moleküle in Schwingung gerieten. Bei erneuter Untersuchung war noch immer keine Remanenz vorhanden.

Wir brachten nun ein Vakuumgefäß mit flüssiger Luft zwischen die Magnetpole. In dieses Gefäß legten wir das Kupferstück, das sich bis auf -190^{0} C gründlich abkühlte. Dann wurde der Magnet in gleicher Weise wie oben erregt, und die Probe zeigte eine sehr schwache Spur von remanentem Magnetismus.

Danach untersuchten wir die Wirkung einer Erhitzung des Kupfers vor der Anwendung des Magnetfeldes. Im Zusammenhange hiermit ist es interessant, auf die großen Verschiedenheiten zwischen der Wirkung der Wärme auf Kupfer, oder auf Eisen und Stahl hinzuweisen. Erhitzung auf hohe Temperatur mit darauffolgender langsamer Abkühlung macht Eisen oder Stahl weich, Kupfer aber nicht. Ablöschen bei hoher Temperatur hat einen ausgesprochenen härtenden Einfluß auf Eisen und Stahl, macht hingegen Kupfer viel weicher und verringert die Elastizität.

Eine Kupferprobe wurde zu heller Rotglut erhitzt, langsam abgekühlt und dann einem magnetisierenden Felde von mehr als 3000 Einheiten ausgesetzt. Sie zeigte keine Spur eines permanenten Magnetismus. Eine Wiederholung der thermischen Behandlung bei dauernder Einwirkung des Magnetisierungsfeldes zeigte dasselbe Ergebnis.

Danach löschten wir eine Probe bei heller Rotglut in kaltem Wasser ab. Wir legten dann dasselbe Magnetisierungsfeld an und untersuchten den Stab. Das Magnetometer zeigte jetzt eine beträchtliche Ablenkung. Danach stellten wir Versuche an, um zu sehen, ob sich durch Ablöschen des Kupfers im Felde ein besserer Effekt erhalten ließe, beobachteten aber keine merkliche Änderung im Betrage des remanenten Magnetismus. Eine andere Probe wurde ungefähr auf dieselbe Temperatur erhitzt und in flüssiger Luft abgelöscht. Die Remanenz dieser Probe ergab sich viel geringer als die der in Wasser abgelöschten. Das rührt vermutlich davon her, daß das Ablöschen weniger plötzlich erfolgt, eine Tatsache, die durch Verwendung von Eisen- und Stahlproben bewiesen wurde. Wenn man einen heißen festen Körper in flüssige Luft eintaucht, so tritt ein heftiges Sieden ein, das aber schnell aufhört, da sich eine Schicht schlecht leitender Luft zwischen dem Prüfstück und der Flüssigkeit bildet.

Weitere Versuche wurden mit abgelöschtem elektrolytischem Kupferblech angestellt. Die Bleche hatten eine Dicke von weniger als 0,03 mm und konnten deshalb nicht sehr schnell abgelöscht werden. Sie lieferten ein wesentlich besseres Ergebnis als das massive Kupfer.

Die Proben wurden von Herrn Professor C. E. Fawsitt sorgfältig analysiert. Das elektrolytische Kupferblech war vermutlich ein wenig reiner als das Barrenkupfer und enthielt sicherlich weniger als 0,0004 Teile Eisen. Die Intensität der remanenten Magnetisierung nach dem Ablöschen betrug etwa 0,14 C.G.S.-Einheiten, und es wären daher mindestens 0,0020 Teile hochgradig magnetischen Eisens erforderlich, um den erzeugten Effekt zu erklären.

Wir verwandten sechs Proben des elektrolytischen Kupfers, die bei Hellrotglut abgelöscht worden waren, zu einer Untersuchung der Remanenz des Kupfers bei Zimmertemperatur und bei der Temperatur der flüssigen Luft. Jede dieser Proben bestand aus einem Stück Blech von $27 \times 6{,}2$ cm und war zu einem dünnen Zylinder von 6,2 cm Länge zusammengerollt. Die an den einzelnen Stücken gefundenen Ergebnisse stimmten sehr gut miteinander überein, wenn man den unvermeidlichen Verschiedenheiten in der Temperatur und in der Schnelligkeit des Ablöschens sowie dem Brechen des Materials bei der derben Behandlung Rechnung trägt. Die nachstehenden Zahlen geben die erhaltenen Mittelwerte der Magnetisierungsstärke in C.G.S.-Einheiten an. (Bei ihrer Berechnung wurde der Polabstand zu $^{5}/_{6}$ der Gesamtlänge des Zylinders angenommen):

Vor der Behandlung	0,00
Nach Anlegung eines Feldes von 3000 Einheiten	0,00

Abgelöscht und wiederum magnetisiert .	0,14
Auf -190^0 C abgekühlt und wiederum magnetisiert	0,27
Auf Zimmertemperatur erwärmt . . .	0,14
Wieder auf -190^0 C abgekühlt und aufs neue magnetisiert	0,26
Auf Zimmertemperatur erwärmt . . .	0,13

Bei den Versuchen bei -190^0 C befanden sich die Proben in kleinen Glasröhrchen, die an einem Ende geschlossen und am offenen Ende umgebogen waren. Diese waren mit Watte umwickelt und mit flüssiger Luft gefüllt. Die allmähliche Verschlechterung der Proben, wie sie die vorstehende Tabelle zeigt, ist vermutlich dem Brechen des Kupfers zuzuschreiben. Die Proben wurden auch zwischen 15^0 C und -190^0 C untersucht, und die Remanenz ergab sich um so größer, je tiefer die Temperatur war.

Der remanente Magnetismus des abgelöschten Kupfers wird durch mäßige Schwingung wenig beeinflußt. Wird indessen eine solche Probe gehämmert, so kann der remanente Magnetismus stark herabgesetzt werden, doch ist die Remanenz nach neuer Magnetisierung praktisch ungeändert.

Erwärmung des abgelöschten Kupfers sucht seinen remanenten Magnetismus zu verringern. Wir untersuchten verschiedene Proben, die bei heller Rotglut abgelöscht und magnetisiert worden waren, nach schrittweiser Erhitzung auf 100^0, 400^0 und 600^0 C. In jedem Falle wurde die Probe von der hohen Temperatur langsam abgekühlt und bei ungefähr 15^0 C untersucht. Es zeigte sich, daß der remanente Magnetismus nach Erwärmung des Kupfers bis zu 100^0 C auf ungefähr 60 Proz. seines anfänglichen Wertes gesunken war, nach Erwärmung bis zu 400^0 C auf etwa 30 Proz.; nach Erwärmung bis zu 600^0 C zeigte die Probe fast keine Spur von remanentem Magnetismus.

Proben abgelöschten Kupfers, die hinterher auf Hellrotglut erhitzt und langsam abgekühlt worden waren, zeigten nur eine geringe oder gar keine Spur von Remanenz nach Anwendung von Feldern bis zu 3500 C.G.S.-Einheiten aufwärts.

Um eine sehr reine Probe von Kupfer zu erhalten, gingen wir dazu über, einen Barren elektrolytisch aufzubauen. Dabei verwandten wir das elektrolytische Kupferblech als Anodenplatten. Die Kathodenplatte bestand aus einem äußerst dünnen Blech von demselben Material. Die elektrolytische Zelle enthielt eine Lösung von eisenfreiem Kupfersulfat vom spezifischen Gewicht 1,15 mit einem Zusatz von etwas mehr als $^1/_2$ Proz. freier Schwefelsäure. Die Zelle wurde zwischen die Pole des Elektromagnets gestellt, und ein konstantes Feld von 2200 C.G.S.-Einheiten wurde während der 60stündigen Versuchsdauer unterhalten. Die niedergeschlagene Kupfermenge betrug etwa 30 g. Am Ende des Versuches war keine Spur von remanentem Magnetismus in dem Barren nachweisbar. Ablöschen bei 700^0 C in einem Felde von 3300 Einheiten vermochte auch keinen remanenten Magnetismus zu hinterlassen.

Dieser letzte Versuch scheint allerdings zu zeigen, daß die Remanenz, die das elektrolytische Kupferblech zeigte, von der Anwesenheit von Verunreinigungen herrührte; indessen kann diese Remanenz sicherlich nicht darauf zurückgeführt werden, daß das Eisen als freies Eisen wirkte; das ergibt sich aus der chemischen Analyse und aus dem besonderen Verhalten der Proben in flüssiger Luft. Vielleicht bildet das Eisen, wenn es in äußerst geringer Menge zugegen ist, mit dem Kupfer eine Verbindung, die magnetisch ist. Bekanntlich werden die elektrischen Eigenschaften des Kupfers durch Gegenwart von Spuren einer Verunreinigung stark beeinflußt. Die Anwesenheit einer winzigen Menge Antimon erniedrigt beispielsweise die elektrische Leitfähigkeit des Kupfers beträchtlich.

Es ist in jüngster Zeit viel über die Rolle des Kupfers in der Heuslerschen Legierung gestritten worden. Wir haben gezeigt[1]), daß eine Probe der Legierung bei der Temperatur der flüssigen Luft eine größere Remanenz zeigt als bei gewöhnlicher Temperatur, und diese Zunahme ist bei abgelöschten Proben noch stärker ausgeprägt. Dieser Effekt — der vorübergehend ist, denn er dauert nur so lange, wie die Temperatur auf -190^0 C gehalten wird — zeigt sich in ausgeprägtem Maße bei den Proben nahezu reinen Kupfers und ist keine Eigenschaft der gewöhnlichen magnetischen Materialien.

Die vorstehend geschilderten Versuche sind im Physikalischen Laboratorium der Universität Glasgow ausgeführt worden, und wir möchten Herrn Professor A. Gray für die uns im Laufe unserer Arbeit erteilten Ratschläge und Herrn Professor Fawsitt für die Ausführung der chemischen Analyse der Kupferproben unseren Dank ausdrücken.

1) Proc. Roy. Soc. Edinburgh **27**, 88 und **28**, 403.

Glasgow, Physikalisches Laboratorium der Universität, den 1. Dezember 1908.

(Aus dem Englischen übersetzt von Max Iklé.)

(Eingegangen 4. Dezember 1908.)

VORTRÄGE UND REDEN.

Die Einheit des physikalischen Weltbildes[1]).

Von Max Planck.

Meine sehr geehrten Herren! Als mir die freundliche Einladung übermittelt wurde, hier vor Ihnen über ein Thema meiner Wissenschaft zu sprechen, war mein erster Gedanke der, wie sorgfältig doch die Physik gerade in Holland gepflegt wird, welch glänzende, weltbekannte Namen Ihnen hier tagtäglich voranleuchten, und wie wenig an eigentlich Neuem Ihnen daher ein Vortrag über theoretische Physik, und nun vollends hier in Leiden, zu bieten vermöchte. Wenn ich nun dennoch den Versuch machen will, Ihre Aufmerksamkeit eine Zeitlang in Anspruch zu nehmen, so kann ich den Mut dazu lediglich aus der Überlegung schöpfen, daß unsere Wissenschaft, die Physik, ihrem Ziele ja nicht auf geradem Wege, sondern nur auf vielfach verschlungenen Pfaden stetig sich anzunähern vermag, und daß deshalb auch in ihr der Individualität der Forschung ein breiter Spielraum gelassen ist. So arbeitet der eine an dieser, der andere an jener Stelle, der eine mit dieser, der andere mit jener Methode, und das physikalische Weltbild, um das wir uns alle bemühen, malt sich zurzeit in jedem wohl etwas verschieden. Daher hoffe ich immerhin auf Interesse bei Ihnen rechnen zu dürfen, wenn ich hier im folgenden versuche, Ihnen die Hauptzüge des physikalischen Weltbildes zu entwerfen, wie es sich aus den mir zur Verfügung stehenden Erfahrungen und Anschauungen heraus gestaltet hat und in Zukunft vermutlich gestalten wird.

I.

Von jeher, solange es eine Naturbetrachtung gibt, hat ihr als letztes, höchstes Ziel die Zusammenfassung der bunten Mannigfaltigkeit der physikalischen Erscheinungen in ein einheitliches System, womöglich in eine einzige Formel, vorgeschwebt, und von jeher haben sich bei der Lösung dieser Aufgabe zwei Methoden gegenübergestanden, oft miteinander ringend, noch öfter sich gegenseitig korrigierend und befruchtend, letzteres am reichsten, wenn sie sich in dem nämlichen Forschergeist zu gemeinsamer Arbeit verbanden. Die eine Methode ist die jugendlichere, sie faßt, einzelne Erfahrungen schnell verallgemeinernd, mit kühnem Griffe nach dem Ganzen und stellt in das Zentrum des Bildes von vornherein einen einzigen Begriff oder Satz, in den sie nun mit mehr oder weniger Erfolg die ganze Natur samt allen ihren Äußerungen zu bannen unternimmt. So machte Thales von Milet das „Wasser", Wilhelm Ostwald die „Energie", Heinrich Hertz das „Prinzip der geradesten Bahn" zum Haupt- und Zentralpunkt seines physikalischen Weltbildes, in welchem alle physikalischen Vorgänge ihren Zusammenhang und ihre Erklärung finden.

Die andere Methode ist bedächtiger, bescheidener und zuverlässiger, aber an Stoßkraft der ersten lange nicht gewachsen und daher auch sehr viel später zu Ehren gekommen: sie verzichtet vorläufig auf endgültige Resultate und malt zunächst nur diejenigen Einzelzüge in das Bild, welche durch direkte Erfahrungen vollständig sicher gestellt erscheinen, ihre weitere Verarbeitung späterer Forschung überlassend. Ihren prägnantesten Ausdruck hat sie wohl gefunden in Gustav Kirchhoffs bekannter Definition der Aufgabe der Mechanik als einer „Beschreibung" der in der Natur vor sich gehenden Bewegungen. Beide Methoden ergänzen sich gegenseitig, und auf keinen Fall kann die physikalische Forschung auf eine derselben verzichten. —

Aber nicht von dieser doppelten Methodik unserer Wissenschaft möchte ich jetzt zu Ihnen reden, sondern ich möchte vielmehr Ihre Aufmerksamkeit richten auf die prinzipiellere Frage, wohin denn diese eigenartige Methodik geführt hat und wohin sie vermutlich noch führen wird. Daß die Physik in ihrer Entwicklung wirklich Fortschritte gemacht hat, daß wir die Natur mit jedem Jahrzehnt erheblich besser kennen lernen, das kann ernstlich gewiß von niemandem geleugnet werden, das beweist ein einziger Blick auf die an Zahl wie an Bedeutung stetig wachsenden Hilfsmittel, mit welchen die Menschheit die Natur ihren Zwecken dienstbar zu machen versteht. Aber in welcher Richtung bewegt sich im ganzen dieser Fortschritt? Inwieweit kann man sagen, daß wir uns dem angestrebten Ziele, dem Einheitssystem, wirklich annähern? Dies zu untersuchen muß jedem Physiker, der sich ein offenes Auge für die Fortschritte seiner Wissenschaft bewahren will, von größter Wichtigkeit erscheinen. Und wenn wir imstande sind, über diese Fragen Auskunft zu erlangen, werden wir auch in die Lage kommen, uns Rechenschaft zu geben über die weitere, heutzutage wieder heißumstrittene Frage: Was bedeutet uns im Grunde das, was wir das physikalische Weltbild nennen? Ist dasselbe lediglich eine zweckmäßige, aber im Grunde willkürliche Schöpfung unseres Geistes, oder

1) Vortrag, gehalten am 9. Dezember 1908 in der naturwissenschaftlichen Fakultät des Studentenkorps an der Universität Leiden.

finden wir uns zu der gegenteiligen Auffassung getrieben, daß es reale, von uns ganz unabhängige Naturvorgänge widerspiegelt? —

Um zu erfahren, in welcher Richtung sich die Entwicklung der physikalischen Wissenschaft bewegt, gibt es nur ein Verfahren: man vergleicht den Zustand, in dem sie sich gegenwärtig befindet, mit demjenigen in einer früheren Zeit. Frägt man aber weiter, welches äußere Kennzeichen denn das beste Charakteristikum für den Entwicklungszustand einer Wissenschaft zu gewähren vermag, so wüßte ich kein allgemeineres zu nennen als die Art und Weise, wie die Wissenschaft ihre Grundbegriffe definiert und wie sie ihre verschiedenen Gebiete einteilt. Denn in der Zweckmäßigkeit der Definitionen und in der Art der Einteilung des Stoffs liegen, wie allen etwas tiefer Nachdenkenden bekannt ist, sogar die letzten, reifsten Resultate der Forschung häufig schon implizite mit enthalten.

Sehen wir nun zu, wie es in dieser Beziehung mit der Physik gegangen ist. Da gewahren wir zunächst, daß die wissenschaftliche physikalische Forschung in allen ihren Gebieten entweder an unmittelbar praktische Bedürfnisse oder an besonders auffällige Naturerscheinungen anknüpft. Und nach diesen Gesichtspunkten richtet sich naturgemäß die anfängliche Einteilung der Physik und die Benennung ihrer einzelnen Zweige. So entsteht die Geometrie aus der Erd- oder Feldmeßkunst, die Mechanik aus der Maschinenlehre, die Akustik, die Optik, die Wärmelehre aus den entsprechenden spezifischen Sinneswahrnehmungen, die Elektrizitätslehre aus den merkwürdigen Beobachtungen am geriebenen Bernstein, die Theorie des Magnetismus aus den auffallenden Eigenschaften der bei der Stadt Magnesia gefundenen Eisenerze. Entsprechend dem Satze, daß alle unsere Erfahrungen an Empfindungen unserer Sinne anknüpfen, ist in allen physikalischen Definitionen das physiologische Element maßgebend, kurz gesagt: die ganze Physik, sowohl ihre Definitionen als auch ihre ganze Struktur, trägt ursprünglich in gewissem Sinn einen anthropomorphen Charakter.

Wie verschieden hiervon ist das Bild, welches uns das Lehrgebäude der modernen theoretischen Physik darbietet! Zunächst zeigt das Ganze ein viel einheitlicheres Gepräge: die Anzahl der Einzelgebiete der Physik ist erheblich verringert, dadurch, daß verwandte Gebiete miteinander verschmolzen sind: so ist die Akustik ganz in die Mechanik aufgegangen, der Magnetismus und die Optik ganz in die Elektrodynamik; und diese Vereinfachung zeigt sich begleitet von einem auffallenden Zurücktreten des menschlich-historischen Elements in allen physikalischen Definitionen. Welcher Physiker denkt heutzutage bei der Elektrizität noch an geriebenen Bernstein, oder beim Magnetismus an den kleinasiatischen Fundort der ersten natürlichen Magnete? Und in der physikalischen Akustik, Optik und Wärmelehre sind die spezifischen Sinnesempfindungen geradezu ausgeschaltet. Die physikalischen Definitionen des Tons, der Farbe, der Temperatur werden heute keineswegs mehr der unmittelbaren Wahrnehmung durch die entprechenden Sinne entnommen, sondern Ton und Farbe werden durch die Schwingungszahl bez. Wellenlänge definiert, die Temperatur theoretisch durch die dem zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie entnommene absolute Temperaturskala, in der kinetischen Gastheorie durch die lebendige Kraft der Molekularbewegung, praktisch durch die Volumenänderung einer thermometrischen Substanz bez. durch den Skalenausschlag eines Bolometers oder Thermoelements; von der Wärmeempfindung ist aber bei der Temperatur in keinem Fall mehr die Rede.

Genau ebenso ist es mit dem Begriff der Kraft gegangen. Das Wort „Kraft" bedeutet ursprünglich ohne Zweifel menschliche Kraft, entsprechend dem Umstand, daß die ersten und ältesten Maschinen: der Hebel, die Rolle, die Schraube, durch Menschen oder Tiere angetrieben wurden, und dies beweist, daß der Begriff der Kraft ursprünglich dem Kraftsinn oder Muskelsinn, also einer spezifischen Sinnesempfindung, entnommen wurde. Aber in der modernen Definition der Kraft erscheint die spezifische Sinnesempfindung ebenso eliminiert, wie in derjenigen der Farbe der Farbensinn.

Ja, dieses Zurückdrängen des spezifisch sinnlichen Elements aus den Definitionen der physikalischen Begriffe geht so weit, daß sogar Gebiete der Physik, welche ursprünglich durch die Zuordnung zu einer bestimmten Sinnesempfindung als durchaus einheitlich charakterisiert wurden, infolge der Lockerung des zusammenhaltenden Bandes in verschiedene ganz getrennte Stücke auseinanderfallen, also gerade entgegen dem allgemeinen Zuge zur Vereinheitlichung und Verschmelzung. Das beste Beispiel hierfür zeigt die Lehre von der Wärme. Früher bildete die Wärme einen bestimmten, durch die Empfindungen des Wärmesinns charakterisierten, wohl abgegrenzten einheitlichen Bezirk der Physik. Heute findet man wohl in allen Lehrbüchern der Physik von der Wärme ein ganzes Gebiet, die Wärmestrahlung, abgespalten und bei der Optik behandelt. Die Bedeutung des Wärmesinns reicht eben nicht mehr hin, um die heterogenen Stücke zusammenzuhalten; vielmehr wird jetzt das eine Stück der Optik bzw. Elektrodynamik, das andere der Mechanik, speziell der kinetischen Theorie der Materie, angegliedert.

Schauen wir auf das Bisherige zurück, so können wir kurz zusammenfassend sagen: die

Signatur der ganzen bisherigen Entwicklung der theoretischen Physik ist eine Vereinheitlichung ihres Systems, welche erzielt ist durch eine gewisse Emanzipation von den anthropomorphen Elementen, speziell den spezifischen Sinnesempfindungen. Bedenkt man nun andererseits, daß doch die Empfindungen anerkanntermaßen den Ausgangspunkt aller physikalischen Forschung bilden, so muß diese bewußte Abkehr von den Grundvoraussetzungen immerhin erstaunlich, ja paradox erscheinen. Und dennoch liegt kaum eine Tatsache in der Geschichte der Physik so klar zutage wie diese. Fürwahr, es müssen unschätzbare Vorteile sein, welche einer solchen prinzipiellen Selbstentäußerung wert sind!

Bevor wir auf diesen wichtigen Punkt näher eingehen, wollen wir nun noch unseren Blick aus der Vergangenheit und der Gegenwart in die Zukunft richten. Wie wird man in künftigen Jahrhunderten das System der Physik einteilen? Gegenwärtig stehen sich darin noch zwei große Gebiete gegenüber: die Mechanik und die Elektrodynamik, oder wie man auch sagt: die Physik der Materie und die Physik des Äthers. Erstere umfaßt zugleich mit die Akustik, die Körperwärme, die chemischen Erscheinungen, letztere den Magnetismus, die Optik und die strahlende Wärme. Wird diese Einteilung die endgültige sein? Ich glaube es nicht, und zwar deshalb nicht, weil diese beiden Gebiete sich gar nicht scharf voneinander abgrenzen lassen. Gehören z. B. die Vorgänge der Lichtemission zur Mechanik oder zur Elektrodynamik? oder: in welches Gebiet soll man die Bewegungsgesetze der Elektronen rechnen? Vielleicht möchte man auf den ersten Blick sagen: zur Elektrodynamik, da bei den Elektronen doch die ponderable Materie gar keine Rolle spielt. Aber man richte sein Augenmerk nur etwa auf die Bewegungen der freien Elektronen in Metallen. Da wird man z. B. beim Studium der Untersuchungen von H. A. Lorentz finden, daß die Gesetze derselben weit besser in die kinetische Gastheorie als in die Elektrodynamik hineinpassen. Überhaupt scheint mir der ursprüngliche Gegensatz zwischen Äther und Materie etwas im Schwinden begriffen zu sein. Elektrodynamik und Mechanik stehen sich gar nicht so ausschließend gegenüber, wie das in weiteren Kreisen gewöhnlich angenommen wird, wo sogar schon von einem Kampf zwischen der mechanischen und der elektrodynamischen Weltanschauung gesprochen wird. Die Mechanik bedarf zu ihrer Begründung prinzipiell nur der Begriffe des Raums, der Zeit und dessen, was sich bewegt, mag man es nun als Substanz oder als Zustand bezeichnen. Die nämlichen Begriffe kann aber auch die Elektrodynamik nicht entbehren. Eine passend verallgemeinerte Auffassung der Mechanik könnte daher sehr wohl auch die Elektrodynamik mit umschließen, und in der Tat sprechen mancherlei Anzeichen dafür, daß diese beiden schon jetzt teilweise ineinander übergreifenden Gebiete sich schließlich zu einem einzigen, zur allgemeinen Dynamik, vereinigen werden.

Wenn also der Gegensatz zwischen Äther und Materie einmal überbrückt ist, welcher Gesichtspunkt wird dann in endgültiger Weise der Einteilung des Systems der Physik zugrunde gelegt werden? Nach dem, was wir oben gesehen haben, ist diese Frage zugleich charakteristisch für die ganze Art der Weiterentwicklung unserer Wissenschaft; doch ist es zu ihrer näheren Untersuchung notwendig, daß wir etwas tiefer als bisher in die Eigenart der physikalischen Prinzipien eindringen.

II.

Ich bitte Sie zu diesem Zwecke zunächst mich zu begleiten an denjenigen Punkt, von welchem aus der erste Schritt zur tatsächlichen Verwirklichung des bis dahin nur von den Philosophen postulierten Einheitssystems der Physik gemacht wurde; zum Prinzip der Erhaltung der Energie. Denn der Begriff der Energie ist neben den Begriffen von Raum und Zeit der einzige allen verschiedenen physikalischen Gebieten gemeinsame. Nach allem, was ich oben ausführte, wird es Ihnen erklärlich und fast selbstverständlich erscheinen, daß auch das Energieprinzip ursprünglich, noch vor seiner allgemeinen Formulierung durch Mayer, Joule und Helmholtz, einen anthropomorphen Charakter trug. Seine ersten Wurzeln liegen nämlich schon in der Erkenntnis, daß es keinem Menschen gelingen kann, nutzbare Arbeit aus Nichts zu gewinnen; und diese Erkenntnis ihrerseits entstammt im wesentlichen den Erfahrungen, die gesammelt wurden bei den Versuchen zur Lösung eines technischen Problems: der Erfindung des Perpetuum mobile. Insofern ist das Perpetuum mobile für die Physik von ähnlicher weittragender Bedeutung geworden, wie die Goldmacherkunst für die Chemie, obwohl es nicht die positiven, sondern umgekehrt die negativen Resultate dieser Experimente waren, aus denen die Wissenschaft Vorteil zog. Heute sprechen wir das Energieprinzip ganz ohne Bezugnahme auf menschliche oder technische Gesichtspunkte aus. Wir sagen, daß die Gesamtenergie eines nach außen abgeschlossenen Systems von Körpern eine Größe ist, deren Betrag durch keinerlei innerhalb des Systems sich abspielende Vorgänge vermehrt oder vermindert werden kann, und wir denken gar nicht mehr daran, die Genauigkeit, mit der dieser Satz gilt, abhängig zu machen von der

Feinheit der Methoden, welche wir gegenwärtig besitzen, um die Frage der Realisierung eines Perpetuum mobile experimentell zu prüfen. In dieser streng genommen unbeweisbaren, aber mit elementarer Gewalt sich aufdrängenden Verallgemeinerung liegt die oben besprochene Emanzipation von den anthropomorphen Elementen.

Während so das Energieprinzip als ein fertiges selbständiges Gebilde, losgelöst und unabhängig von den Zufälligkeiten seiner Entwicklungsgeschichte, vor uns steht, ist das nämliche noch keineswegs in gleichem Maße der Fall bei demjenigen Prinzip, welches R. Clausius unter dem Namen des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie in die Physik eingeführt hat; und gerade der Umstand, daß dieser Satz die Eierschalen seiner Entwicklung auch heute noch nicht vollständig abgestreift hat, verleiht ihm in unserer heutigen Besprechung besonderes Interesse. In der Tat trägt der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie, wenigstens in seiner landläufigen Beurteilung, noch entschieden anthropomorphen Charakter. Gibt es doch zahlreiche hervorragende Physiker, welche seine Gültigkeit in Verbindung bringen mit der Unfähigkeit des Menschen, in die Einzelheiten der Molekularwelt einzudringen und es den Maxwellschen Dämonen gleichzutun, welche ohne jeglichen Arbeitsaufwand, lediglich durch rechtzeitiges Vor- und Zurückschieben eines kleinen Riegels, die schnelleren Moleküle eines Gases von den langsameren zu trennen vermögen. Man braucht aber kein Prophet zu sein, um mit Sicherheit vorauszusagen, daß der Kern des zweiten Hauptsatzes mit menschlichen Fähigkeiten nichts zu tun hat und daß daher auch seine endgültige Formulierung in einer Weise erfolgen muß und erfolgen wird, welche keinerlei Bezugnahme auf die Ausführbarkeit irgendwelcher Naturprozesse durch Menschenkunst enthält. Zu dieser Emanzipation des zweiten Hauptsatzes werden, wie ich hoffe, auch die folgenden Ausführungen etwas beitragen können.

Gehen wir zunächst etwas näher auf den Inhalt des zweiten Hauptsatzes und seine Beziehung zum Energieprinzip ein. Während das Energieprinzip den Ablauf der natürlichen Vorgänge dadurch beschränkt, daß es niemals Schöpfung oder Vernichtung von Energie, sondern nur Umwandlungen von Energie zuläßt, geht der zweite Hauptsatz in der Beschränkung noch weiter, indem er nicht alle Arten von Umwandlungen, sondern gewisse nur unter gewissen Bedingungen gestattet. So läßt sich mechanische Arbeit vollständig und ohne weiteres in Wärme verwandeln, z. B. durch Reibung, aber nicht umgekehrt Wärme ohne weiteres in Arbeit. Wäre das nämlich möglich, so könnte man etwa die Wärme des Erdbodens, die uns ja unbeschränkt zur Verfügung steht, zum Antrieb eines Motors verwenden und hätte dabei den doppelten Vorteil, diesen Motor, da er den Erdboden abkühlt, zugleich als Kältemaschine benutzen zu können.

Aus der erfahrungsgemäßen Unmöglichkeit eines derartigen Motors, der auch als ein Perpetuum mobile zweiter Art bezeichnet wird, geht nun mit Notwendigkeit hervor, daß es Vorgänge in der Natur gibt, die auf keinerlei Weise vollständig rückgängig gemacht werden können. Denn ließe sich z. B. ein Reibungsvorgang, durch welchen mechanische Arbeit in Wärme verwandelt ist, mit Hilfe irgendeines, wenn auch noch so komplizierten Apparats auf irgendeine Weise wirklich vollständig rückgängig machen, so wäre eben der betreffende Apparat nichts anderes als der vorhin geschilderte Motor: ein Perpetuum mobile zweiter Art. Dies erhellt unmittelbar, wenn man sich deutlich vorstellt, was der Apparat leisten würde: Verwandlung von Wärme in Arbeit ohne jegliche anderweitig zurückbleibende Veränderung.

Nennen wir einen solchen Vorgang, der sich auf keinerlei Weise vollständig rückgängig machen läßt, einen irreversibeln Prozeß, alle übrigen Vorgänge reversible Prozesse, so treffen wir gerade den Kernpunkt des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie, wenn wir sagen, daß es in der Natur irreversible Prozesse gibt. Demnach haben die Veränderungen in der Natur eine einseitige Richtung: mit jedem einzelnen irreversibeln Prozeß macht die Welt einen Schritt vorwärts, dessen Spuren unter keinen Umständen vollständig zu verwischen sind. Beispiele irreversibler Prozesse sind außer der Reibung die Wärmeleitung, die Diffusion, die Elektrizitätsleitung, die Emission von Licht- und Wärmestrahlung, der Atomzerfall radioaktiver Substanzen u. a. Beispiele reversibler Prozesse sind dagegen die Planetenbewegung, der freie Fall im luftleeren Raum, die ungedämpfte Pendelbewegung, die Fortpflanzung von Licht- und Schallwellen ohne Absorption und Beugung, die ungedämpften elektrischen Schwingungen u. a. Denn alle diese Vorgänge sind entweder schon an sich periodisch, oder sie lassen sich doch durch geeignete Vorrichtungen vollständig rückgängig machen, so daß keinerlei Veränderung in der Natur zurückbleibt, z. B. der freie Fall eines Körpers dadurch, daß man die erlangte Geschwindigkeit benutzt, um ihn wieder auf die ursprüngliche Höhe zu heben, eine Licht- oder Schallwelle dadurch, daß man sie in geeigneter Weise an vollkommenen Spiegeln reflektieren läßt.

Welches sind nun die allgemeinen Eigenschaften und Kennzeichen der irreversibeln

Prozesse? und welches ist das allgemeine quantitative Maß der Irreversibilität? Diese Frage ist in der verschiedensten Weise geprüft und beantwortet worden, und gerade das Studium ihrer Geschichte bietet einen besonders charakteristischen Einblick in den typischen Entwicklungsgang einer allgemeinen physikalischen Theorie. Ebenso wie man ursprünglich durch das technische Problem des Perpetuum mobile auf die Spur des Energieprinzips gekommen war, so leitete auch wieder ein technisches Problem: das der Dampfmaschine, zur Unterscheidung zwischen irreversibeln und reversibeln Prozessen hin. Schon Sadi Carnot erkannte, obwohl er eine unzutreffende Vorstellung von der Natur der Wärme benutzte, daß die irreversibeln Prozesse unökonomischer sind als die reversibeln, oder daß bei einem irreversibeln Prozeß eine gewisse Gelegenheit, mechanische Arbeit aus Wärme zu gewinnen, ungenützt gelassen wird. Was lag nun näher als der Gedanke, für das Maß der Irreversibilität eines Prozesses ganz allgemein das Quantum derjenigen mechanischen Arbeit festzusetzen, welche durch ihn definitiv verloren geht? Für reversible Prozesse wäre dann natürlich die definitiv verlorene Arbeit gleich Null zu setzen. Diese Auffassung hat sich in der Tat für gewisse spezielle Fälle, z. B. für isotherme Prozesse, als nützlich erwiesen, sie ist daher bis zum heutigen Tag in gewissem Ansehen geblieben; für den allgemeinen Fall jedoch hat sie sich als unbrauchbar und sogar irreführend gezeigt. Dies hat darin seinen Grund, daß die Frage nach der bei einem bestimmten irreversibeln Prozeß verlorenen Arbeit gar nicht in bestimmter Weise zu beantworten ist, solange nicht näher angegeben wird, aus welcher Energiequelle denn die betreffende Arbeit hätte gewonnen werden sollen.

Ein Beispiel wird dies klar machen. Die Wärmeleitung ist ein irreversibler Prozeß, oder, wie Clausius es ausdrückt: Wärme kann nicht ohne Kompensation aus einem kälteren in einen wärmeren Körper übergehen. Welches ist nun die Arbeit, welche definitiv verloren geht, wenn die Wärmemenge Q durch direkte Leitung aus einem wärmeren Körper von der Temperatur T_1 in einen kälteren Körper von der Temperatur T_2 übergeht? Um diese Frage zu beantworten, benützen wir den genannten Wärmeübergang zur Ausführung eines reversibeln Carnotschen Kreisprozesses zwischen den beiden Körpern als Wärmereservoiren. Dabei wird bekanntlich eine gewisse Arbeit gewonnen, und diese Arbeit ist es gerade, welche wir suchen; denn sie geht eben bei der direkten Überführung der Wärme durch Leitung verloren. Aber diese Arbeitsgröße hat gar keinen bestimmten Wert, ehe wir nicht wissen, woher die Arbeit stammen soll, ob z. B. aus dem wärmeren Körper oder aus dem kälteren Körper oder ob irgend anders woher. Man bedenke nämlich, daß die von dem wärmeren Körper abgegebene Wärme bei dem reversibeln Kreisprozeß ja gar nicht gleich ist der von dem kälteren Körper aufgenommenen Wärme, weil doch ein gewisser Betrag Wärme in Arbeit verwandelt wird, und man kann mit genau demselben Rechte die gegebene, beim direkten Leitungsprozeß übergeführte Wärmemenge Q mit der vom wärmeren Körper abgegebenen oder mit der vom kälteren Körper aufgenommenen Wärme identifizieren. Je nachdem man das erste oder das zweite tut, erhält man für die Größe der beim Leitungsprozeß verlorenen Arbeit:

$$Q \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_1} \text{ oder } Q \cdot \frac{T_1 - T_2}{T_2}.$$

Diese Unbestimmtheit hat Clausius auch wohl erkannt und hat daher den einfachen Carnotschen Kreisprozeß entsprechend verallgemeinert durch die Annahme eines dritten Wärmereservoirs, dessen Temperatur nun ganz unbestimmt ist und dementsprechend auch eine unbestimmte Arbeit ergibt [1]).

Wir sehen also, daß der eingeschlagene Weg, die Irreversibilität eines Prozesses mathematisch zu fassen, im allgemeinen nicht zum Ziele führt, und wir sehen zugleich auch den eigentlichen Grund, warum dies nicht gelingen konnte. Die Fragestellung ist zu anthropomorph gefärbt, sie ist zu sehr auf die Bedürfnisse des Menschen zugeschnitten, dem es in erster Linie auf die Gewinnung nutzbarer Arbeit ankommt. Wenn man von der Natur eine bestimmte Antwort haben will, muß man von einem allgemeineren, weniger ökonomisch interessierten Standpunkt aus an sie herantreten. Das wollen wir jetzt zu tun versuchen.

Betrachten wir irgendeinen in der Natur vor sich gehenden Prozeß. Derselbe führt alle daran beteiligten Körper aus einem bestimmten Anfangszustand, den ich den Zustand A nennen will, in einen bestimmten Endzustand B über. Der Prozeß ist entweder reversibel oder irreversibel, ein drittes ist nicht möglich. Ob er aber reversibel oder irreversibel ist, hängt einzig und allein von der Beschaffenheit der beiden Zustände A und B ab, nicht von der Art, wie der Prozeß im übrigen verlaufen ist; denn es kommt dabei nur auf die Beantwortung der Frage an, ob, wenn der Zustand B einmal erreicht ist, die vollständige Rückkehr nach A auf irgendwelche Weise erzielt werden kann oder nicht. Ist nun die vollständige Rückkehr von B nach A nicht möglich, also der Prozeß

1) R. Clausius, Die mechanische Wärmetheorie, 2. Auflage, I. Band, S. 96, 1876.

irreversibel, so ist offenbar der Zustand B in der Natur durch eine gewisse Eigenschaft vor dem Zustand A ausgezeichnet; ich habe mir einmal vor Jahren erlaubt, das so auszudrücken, daß die Natur zum Zustand B eine größere „Vorliebe" besitzt als zum Zustand A. Nach dieser Ausdrucksweise sind solche Prozesse in der Natur durchaus unmöglich, für deren Endzustand die Natur eine kleinere Vorliebe besitzen würde wie für den Anfangszustand. Einen Grenzfall bilden die reversibeln Prozesse; bei ihnen besitzt die Natur die gleiche Vorliebe für den Anfangs- wie für den Endzustand, und der Übergang kann zwischen ihnen beliebig nach beiden Richtungen erfolgen.

Nun handelt es sich darum, eine physikalische Größe zu suchen, deren Betrag als ein allgemeines Maß der Vorliebe der Natur für einen Zustand dienen kann. Es muß dies eine Größe sein, welche durch den Zustand des betrachteten Systems unmittelbar bestimmt ist, ohne daß man irgend etwas über die Vorgeschichte des Systems zu wissen braucht, ebenso wie das bei der Energie, beim Volumen und bei anderen Eigenschaften des Systems zutrifft. Diese Größe würde die Eigentümlichkeit besitzen, bei allen irreversibeln Prozessen zu wachsen, bei allen reversibeln Prozessen dagegen ungeändert zu bleiben, und der Betrag ihrer Änderung bei einem Prozesse würde ein allgemeines Maß liefern für die Irreversibilität des Prozesses.

R. Clausius hat nun diese Größe wirklich aufgefunden und hat sie die „Entropie" genannt. Jedes Körpersystem besitzt in jedem Zustand eine bestimmte Entropie, und diese Entropie bezeichnet die Vorliebe der Natur für den betreffenden Zustand, sie kann bei allen Prozessen, welche innerhalb des Systems vor sich gehen, stets nur wachsen, niemals abnehmen. Will man einen Prozeß betrachten, bei dem auch Einwirkungen von außen auf das System stattfinden, so muß man diejenigen Körper, von denen die Wirkungen ausgehen, als mit zum System gehörig betrachten; dann gilt der Satz wieder in der obigen Form. Dabei ist die Entropie eines Körpersystems einfach gleich der Summe der Entropien der einzelnen Körper, und die Entropie eines einzelnen Körpers wird nach Clausius gefunden mit Hilfe eines gewissen reversiblen Kreisprozesses. Zuleitung von Wärme vergrößert die Entropie eines Körpers, und zwar um den Betrag des Quotienten der zugeführten Wärmemenge durch die Temperatur des Körpers; einfache Kompression dagegen ändert die Entropie nicht.

Um auf das oben besprochene Beispiel der von einem wärmeren Körper mit der Temperatur T_1 einem kälteren Körper mit der Temperatur T_2 direkt zugeleiteten Wärme Q zurückzukommen, so vermindert sich bei diesem Prozeß nach dem eben Gesagten die Entropie des wärmeren Körpers, die des kälteren dagegen wächst, und die Summe beider Änderungen, also die Änderung der Gesamtentropie beider Körper, ist:

$$-\frac{Q}{T_1}+\frac{Q}{T_2}>0.$$

Diese positive Größe gibt also frei von aller Willkür das Maß für die Irreversibilität des Wärmeleitungsprozesses. Derartige Beispiele lassen sich natürlich in unzähliger Menge anführen. Jeder chemische Prozeß liefert einen Beitrag dazu.

So ist der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie samt allen seinen Folgerungen zum Prinzip der Vermehrung der Entropie geworden, und es wird Ihnen nun wohl verständlich erscheinen, weshalb ich, anknüpfend an die oben aufgeworfene Frage, meine Meinung dahin ausspreche, daß in der theoretischen Physik der Zukunft die erste, wichtigste Einteilung aller physikalischen Prozesse die in reversible und in irreversible Prozesse sein wird.

In der Tat zeigen alle reversibeln Prozesse, sei es, daß sie in der Materie oder im Äther oder in beiden verlaufen, untereinander eine viel größere Ähnlichkeit als mit irgendeinem irreversibeln Prozeß. Das ergibt sich schon aus der formellen Betrachtung der Differentialgleichungen, welche sie beherrschen. In den Differentialgleichungen der reversibeln Prozesse tritt das Zeitdifferential immer nur in einer geraden Potenz auf, entsprechend dem Umstand, daß das Vorzeichen der Zeit auch umgekehrt werden kann. Das gilt in gleicher Weise für Pendelschwingungen, elektrische Schwingungen, akustische und optische Wellen, wie für Bewegungen von Massenpunkten oder von Elektronen, wenn nur jede Art von Dämpfung ausgeschlossen ist. Hierher gehören aber auch die in der Thermodynamik betrachteten unendlich langsam verlaufenden Prozesse, die aus lauter Gleichgewichtszuständen bestehen, in denen die Zeit überhaupt keine Rolle spielt oder, wie man auch sagen kann, in der nullten Potenz vorkommt, die auch zu den geraden Potenzen zu rechnen ist. Alle diese reversibeln Prozesse haben auch die gemeinsame Eigenschaft, daß sie, wie Helmholtz gezeigt hat, vollständig dargestellt werden durch das Prinzip der kleinsten Wirkung, welches auf jedwede ihren meßbaren Verlauf betreffende Frage eine eindeutige Antwort gibt, und insofern kann man die Theorie der reversibeln Prozesse als eine vollkommen abgeschlossene bezeichnen. Dafür haben die reversibeln Prozesse den Nachteil, daß sie samt und sonders nur ideal sind; in der wirklichen Natur gibt es keinen einzigen reversibeln Prozeß,

da jeder natürliche Vorgang mehr oder minder mit Reibung oder mit Wärmeleitung verknüpft ist. Im Bereich der irreversibeln Prozesse ist aber das Prinzip der kleinsten Wirkung nicht mehr ausreichend; denn das Prinzip der Vermehrung der Entropie bringt in das physikalische Weltbild ein ganz neues, dem Wirkungsprinzip an sich fremdes Element, welches auch eine besondere mathematische Behandlung erfordert. Ihm entspricht der einseitige Verlauf der Vorgänge, die Erreichung eines festen Endzustandes.

Die vorstehenden Erwägungen werden, wie ich hoffe, genügt haben, um es deutlich zu machen, daß der Gegensatz zwischen reversibeln und irreversibeln Prozessen ein viel tiefer liegender ist als etwa der zwischen mechanischen und elektrischen Prozessen, und daß daher dieser Unterschied mit besserem Recht als irgendein anderer zum vornehmsten Einteilungsgrund aller physikalischen Vorgänge gemacht werden und in dem physikalischen Weltbild der Zukunft endgültig die Hauptrolle spielen dürfte. —

Und doch ist die erörterte Klassifizierung noch einer ganz wesentlichen Verbesserung bedürftig. Denn es läßt sich nicht leugnen, daß in der geschilderten Form das System der Physik immer noch mit einer starken Dosis Anthropomorphismus versetzt ist. In der Definition der Irreversibilität sowohl wie auch in der der Entropie wird nämlich Bezug genommen auf die Ausführbarkeit gewisser Veränderungen in der Natur, und das heißt doch im Grunde nichts anderes, als daß die Einteilung der physikalischen Vorgänge abhängig gemacht wird von der Leistungsfähigkeit menschlicher Experimentierkunst, welche doch sicherlich nicht immer auf einer bestimmten Stufe stehen bleibt, sondern sich stetig mehr und mehr vervollkommnet. Wenn also die Unterscheidung zwischen reversibeln und irreversibeln Prozessen wirklich für alle Zeiten bleibende Bedeutung haben soll, so muß sie noch wesentlich vertieft und namentlich unabhängig gemacht werden von jeglicher Bezugnahme auf menschliche Fähigkeiten. Wie das geschehen kann, möchte ich im folgenden besprechen.

III.

Die ursprüngliche Definition der Irreversibilität leidet, wie wir gesehen haben, an dem bedenklichen Mangel, daß sie eine bestimmte Grenze menschlichen Könnens zur Voraussetzung hat, während doch eine solche Grenze in Wirklichkeit gar nicht nachzuweisen ist. Im Gegenteil: das Menschengeschlecht macht alle Anstrengungen, um die gegenwärtigen Grenzen seiner Leistungsfähigkeit stets weiter hinauszurücken, und wir hoffen, daß uns in späteren Zeiten noch mancherlei gelingen wird, was vielleicht vielen jetzt als unausführbar erscheint. Könnte es demnach nicht noch einmal eintreten, daß ein Prozeß, der bis jetzt immer als irreversibel angesehen wird, sich infolge einer neuen Entdeckung oder Erfindung als reversibel erweist? Dann würde das ganze Gebäude des zweiten Hauptsatzes unweigerlich zusammenstürzen, denn die Irreversibilität eines einzigen Prozesses bedingt, wie sich leicht nachweisen läßt, die aller übrigen.

Nehmen wir ein konkretes Beispiel. Die mikroskopisch gut wahrnehmbare höchst merkwürdige zitternde Bewegung, welche kleine, in einer Flüssigkeit suspendierte Partikel ausführen, die sogenannte Brownsche Molekularbewegung, ist nach den neuesten Untersuchungen eine direkte Folge der fortwährenden Stöße der Flüssigkeitsmolekeln gegen die Partikel. Wäre man nun imstande, mit Hilfe irgendeiner sehr feinen Vorrichtung richtend und ordnend, aber ohne merklichen Arbeitsaufwand, auf die einzelnen Partikel derartig einzuwirken, daß aus der ungeordneten Bewegung eine irgendwie geordnete wird, so hätte man ohne Zweifel ein Mittel gefunden, einen Teil der Flüssigkeitswärme ohne Kompensation in grob sichtbare und daher auch nutzbare lebendige Kraft umzuwandeln. Wäre dies nicht ein Widerspruch gegen den zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie? Wenn diese Frage zu bejahen wäre, dann könnte jener Satz doch gewiß nicht mehr den Rang eines Prinzips behaupten, da doch seine Gültigkeit von den Fortschritten der Experimentaltechnik abhinge. Man sieht: das einzige Mittel, um dem zweiten Hauptsatz eine prinzipielle Bedeutung zu sichern, kann nur darin bestehen, daß man den Begriff der Irreversibilität unabhängig macht von allen menschlichen Beziehungen.

Nun geht der Begriff der Irreversibilität zurück auf den Begriff der Entropie; denn irreversibel ist ein Prozeß, wenn er mit einer Zunahme der Entropie verbunden ist. Hierdurch wird das Problem zurückgeführt auf eine geeignete Verbesserung der Definition der Entropie. Nach der ursprünglichen Clausiusschen Definition wird ja die Entropie gemessen durch einen gewissen reversiblen Prozeß, und die Schwäche dieser Definition beruht darauf, daß viele derartige reversible Prozesse, ja im Grunde genommen alle, in Wirklichkeit gar nicht ausführbar sind. Man könnte zwar mit gewissem Recht erwidern, daß es sich hierbei gar nicht um wirkliche Prozesse und um einen wirklichen Physiker handelt, sondern um ideale Prozesse, sogenannte Gedankenexperimente, und um einen idealen Physiker, der sämtliche experimentelle Methoden mit absoluter Genauigkeit handhabt.

Hier liegt nun aber gerade wieder die Schwierigkeit. Wie weit reichen denn derartige ideale Messungen des idealen Physikers? Daß man ein Gas komprimiert mit einem Druck, der dem Druck des Gases gleich ist, und es erwärmt aus einem Wärmereservoir, welches die nämliche Temperatur besitzt wie das Gas, läßt sich noch mit Hilfe eines geeigneten Grenzüberganges verstehen, aber daß man z. B. einen gesättigten Dampf durch isotherme Kompression auf reversiblem Wege in Flüssigkeit verwandelt, ohne daß jemals ein Teil des Dampfes sich kondensiert, wie das bei gewissen Betrachtungen in der Thermodynamik vorausgesetzt wird, muß schon bedenklich erscheinen. Noch viel auffallender jedoch ist das, was in der physikalischen Chemie an Gedankenexperimenten dem Theoretiker zugetraut wird. Mit seinen semipermeabeln Wänden, die in Wirklichkeit nur unter ganz speziellen Umständen und dann nur mit gewisser Annäherung existieren, trennt er auf reversiblem Wege nicht nur alle beliebigen verschiedenen Molekülarten, einerlei ob sie in stabilem oder in labilem Zustand sich befinden, sondern sogar die entgegengesetzt geladenen Ionen voneinander und von den undissoziierten Molekülen, und er läßt sich dabei weder durch die enormen elektrostatischen Kräfte stören, welche sich einer solchen Trennung widersetzen, noch durch den Umstand, daß in Wirklichkeit sofort beim Beginn der Trennung die Moleküle sich wieder zum Teil dissoziieren, die Ionen sich wieder zum Teil vereinigen. Solche ideale Prozesse sind aber durchaus notwendig, um die Entropie der undissoziierten Moleküle mit der Entropie der dissoziierten Moleküle vergleichen zu können. Fürwahr, es muß fast wundernehmen, daß alle diese kühnen Gedankengänge die Prüfung ihrer Resultate durch die Erfahrung so gut bestanden haben.

Bedenkt man aber andrerseits, daß in allen diesen Resultaten jede Bezugnahme auf die wirkliche Ausführbarkeit jener idealen Prozesse wieder verschwunden ist — es sind ja nur Beziehungen zwischen direkt meßbaren Größen, wie Temperatur, Wärmetönung, Konzentration usw. —, so ist die Vermutung nicht von der Hand zu weisen, daß vielleicht die ganze vorübergehende Einführung solcher idealer Prozesse im Grunde einen Umweg bedeutet, und daß der eigentliche Inhalt des Prinzips der Vermehrung der Entropie mit allen seinen Konsequenzen von dem ursprünglichen Begriff der Irreversibilität oder von der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile zweiter Art ebensowohl losgelöst werden kann wie das Prinzip der Erhaltung der Energie sich losgelöst hat von dem Satz der Unmöglichkeit des Perpetuum mobile erster Art.

Diesen Schritt: die Emanzipierung des Entropiebegriffes von menschlicher Experimentierkunst und dadurch die Erhebung des zweiten Hauptsatzes zu einem realen Prinzip, vollzogen zu haben ist das wissenschaftliche Lebenswerk Ludwig Boltzmanns. Er besteht, kurz gesagt, in der allgemeinen Zurückführung des Begriffes der Entropie auf den Begriff der Wahrscheinlichkeit. Dadurch erklärt sich zugleich auch die Bedeutung des oben von mir aushilfsweise gebrauchten Wortes: „Vorliebe" der Natur für einen bestimmten Zustand. Die Natur zieht eben wahrscheinlichere Zustände den minder wahrscheinlichen vor, indem sie nur Übergänge in der Richtung größerer Wahrscheinlichkeit ausführt. Die Wärme geht von einem Körper höherer Temperatur zu einem Körper tieferer Temperatur über, weil der Zustand gleicher Temperaturverteilung wahrscheinlicher ist als jeder Zustand ungleicher Temperaturverteilung.

Die Berechnung einer bestimmten Größe der Wahrscheinlichkeit für jeden Zustand eines Körpersystems wird ermöglicht durch die Einführung der atomistischen Theorie und der statistischen Betrachtungsweise. Für die Wechselwirkungen der einzelnen Atome könnten dann die bekannten Gesetze der allgemeinen Dynamik, Mechanik und Elektrodynamik zusammen genommen, gelten.

Durch diese Auffassung wird mit einem Schlage der zweite Hauptsatz der Wärmetheorie aus seiner isolierten Stellung gerückt, das Geheimnisvolle an der Vorliebe der Natur verschwindet und das Entropieprinzip knüpft sich als ein wohlfundierter Satz der Wahrscheinlichkeitsrechnung an die Einführung der Atomistik in das physikalische Weltbild.

Freilich ist nicht zu leugnen, daß dieser weitere Schritt in der Vereinheitlichung des Weltbildes abermals mit mancherlei Opfern erkauft ist. Das vornehmste Opfer ist wohl der Verzicht auf eine wirklich vollständige Beantwortung aller auf die Einzelheiten eines physikalischen Vorganges bezüglichen Fragen, wie sie jede bloß statistische Behandlungsweise mit sich bringt. Denn wenn wir nur mit Mittelwerten rechnen, erfahren wir nichts von den einzelnen Elementen, aus denen sie gebildet sind.

Ein zweiter bedenklicher Nachteil scheint zu liegen in der Einführung zweier verschiedener Arten der ursächlichen Verknüpfung physikalischer Zustände: einerseits der absoluten Notwendigkeit, andererseits der bloßen Wahrscheinlichkeit ihres Zusammenhangs. Wenn eine ruhende schwere Flüssigkeit einem tieferen Niveau zustrebt, so ist das nach dem Satz der Erhaltung der Energie eine notwendige Folge des Umstandes, daß sie nur dann in Bewegung geraten, d. h. kinetische Energie gewinnen kann, wenn die potentielle Energie verkleinert wird, also ihr Schwerpunkt tiefer rückt. Wenn aber ein wärmerer Körper an einen ihn be-

führenden kälteren Körper Wärme abgibt, so ist das nur enorm wahrscheinlich, keineswegs absolut notwendig; denn es lassen sich sehr wohl ganz spezielle Anordnungen und Geschwindigkeitszustände der Atome ersinnen, bei denen gerade das Umgekehrte eintritt. Boltzmann hat hieraus die Konsequenz gezogen, daß solche eigentümlichen Vorgänge, die dem zweiten Hauptsatz der Wärmetheorie zuwiderlaufen, in der Natur wohl vorkommen könnten, und hat ihnen daher in seinem physikalischen Weltbild einen Platz offen gelassen. Das ist nun allerdings ein Punkt, in welchem man nach meiner Meinung ihm nicht zu folgen braucht. Denn eine Natur, in welcher solche Dinge passieren, wie das Zurückströmen der Wärme in den wärmeren Körper oder die spontane Entmischung zweier ineinander diffundierter Gase, wäre eben nicht mehr unsere Natur. Solange wir es nur mit letzterer zu tun haben, werden wir wohl besser fahren, wenn wir solche seltsame Vorgänge nicht zulassen, sondern umgekehrt diejenige allgemeine Bedingung aufsuchen und als in der Natur realisiert annehmen, welche jene allen Erfahrungen zuwiderlaufenden Phänomene von vornherein ausschließt. Boltzmann selber hat jene Bedingung für die Gastheorie formuliert, es ist, ganz allgemein gesprochen, die „Hypothese der elementaren Unordnung" oder kurz ausgedrückt die Voraussetzung, daß die einzelnen Elemente, mit denen die statistische Betrachtung operiert, sich vollständig unabhängig voneinander verhalten. Mit der Einführung dieser Bedingung ist die Notwendigkeit alles Naturgeschehens wieder hergestellt; denn ihre Erfüllung zieht nach den Gesetzen der Wahrscheinlichkeitsrechnung die Vermehrung der Entropie als direkte Konsequenz nach sich, so daß man das Wesen des zweiten Hauptsatzes der Wärmetheorie auch geradezu als das Prinzip der elementaren Unordnung bezeichnen kann. In dieser Formulierung kann das Entropieprinzip ebensowenig jemals zu einem Widerspruch führen, wie die auf rein mathematischer Grundlage ruhende Wahrscheinlichkeitsrechnung, aus der es abgeleitet ist.

Wie hängt nun die Wahrscheinlichkeit eines Systems mit seiner Entropie zusammen? Das ergibt sich einfach aus dem Satze, daß die Wahrscheinlichkeit zweier voneinander unabhängiger Systeme durch das Produkt der Einzelwahrscheinlichkeiten ($W = W_1 W_2$), die Entropie aber durch die Summe der Einzelentropieen ($S = S_1 + S_2$) dargestellt wird. Demnach ist die Entropie proportional dem Logarithmus der Wahrscheinlichkeit ($S = k \log W$). Dieser Satz eröffnet den Zugang zu einer neuen, über die Hilfsmittel der gewöhnlichen Thermodynamik weit hinausreichenden Methode, die Entropie eines Systems in einem gegebenen Zustand zu berechnen. Namentlich erstreckt sich hiernach die Definition der Entropie nicht allein auf Gleichgewichtszustände, wie sie in der gewöhnlichen Thermodynamik fast ausschließlich betrachtet werden, sondern ebensowohl auch auf beliebige dynamische Zustände, und man braucht zur Berechnung der Entropie nicht mehr wie bei Clausius einen reversiblen Prozeß auszuführen, dessen Realisierung stets mehr oder weniger zweifelhaft erscheint, sondern man ist unabhängig von allen Künsten menschlicher Technik. Das Anthropomorphe ist mit einem Worte aus dieser Definition völlig ausgemerzt, und damit der zweite Hauptsatz ebenso wie der erste auf eine reale Basis gestellt.

Die Fruchtbarkeit der neuen Definition der Entropie hat sich aber nicht allein in der kinetischen Gastheorie, sondern auch in der Theorie der strahlenden Wärme gezeigt, da sie zur Aufstellung von Gesetzen geführt hat, die mit der Erfahrung gut übereinstimmen. Daß auch die strahlende Wärme eine Entropie besitzt, folgt schon daraus, daß ein Körper, der Wärmestrahlen emittiert, eine Einbuße von Wärme, also eine Abnahme seiner Entropie erfährt. Da die gesamte Entropie eines Systems nur wachsen kann, so muß demnach ein Teil der Entropie des ganzen Systems in der ausgestrahlten Wärme enthalten sein. Daher besitzt auch jeder monochromatische Strahl eine bestimmte nur von seiner Helligkeit abhängige Temperatur; es ist diejenige Temperatur, welche ein schwarzer Körper besitzt, der Strahlen von der nämlichen Helligkeit emittiert. Der Hauptunterschied zwischen der Strahlungstheorie und der kinetischen Theorie liegt darin, daß bei der strahlenden Wärme die Elemente, deren Unordnung die Entropie bedingt, nicht mehr wie bei den Gasen die Atome sind, sondern die äußerst zahlreichen einfachen sinusförmigen Partialschwingungen, aus denen jeder Licht- und Wärmestrahl, auch der homogenste, zusammengesetzt gedacht werden kann.

Für die Gesetze der Wärmestrahlung im freien Äther ist besonders bemerkenswert, daß die in ihnen auftretenden Konstanten, ebenso wie die Gravitationskonstante, einen universellen Charakter besitzen insofern, als sie unabhängig sind von der Bezugnahme auf irgendeine spezielle Substanz oder irgendeinen speziellen Körper. Daher ist mit ihrer Hilfe die Möglichkeit gegeben, Einheiten für Länge, Zeit, Masse, Temperatur aufzustellen, welche ihre Bedeutung für alle Zeiten und für alle, auch für außerirdische und außermenschliche Kulturen notwendig behalten müssen. Dasselbe gilt nämlich bekanntlich keineswegs von den Einheiten unseres gebräuchlichen Maßsystems. Denn diese sind, obwohl sie gewöhnlich als die absoluten Einheiten bezeichnet werden, doch durchweg den

speziellen Verhältnissen unserer gegenwärtigen irdischen Kultur angepaßt. Das Zentimeter ist dem jetzigen Umfang unseres Planeten entnommen, die Sekunde der Zeit seiner Umdrehung, das Gramm dem Wasser als dem Hauptbestandteil der Erdoberfläche, die Temperatur den Fundamentalpunkten des Wassers. Jene Konstanten aber sind derart, daß auch die Marsbewohner und überhaupt alle in unserer Natur vorhandenen Intelligenzen notwendig einmal auf sie stoßen müssen, — wenn sie nicht schon darauf gestoßen sind.

Noch eines weiteren höchst merkwürdigen Aufschlusses will ich hier gedenken, den das Wesen der Entropie durch ihre Verknüpfung mit der Wahrscheinlichkeit erfahren hat. Der oben benutzte Satz, daß die Wahrscheinlichkeit zweier Systeme das Produkt ist der Wahrscheinlichkeiten der einzelnen Systeme, gilt bekanntlich nur für den Fall, daß die beiden Systeme im Sinne der Wahrscheinlichkeitsrechnung unabhängig voneinander sind; im anderen Fall ist die Wahrscheinlichkeit eine andere. Daher sollte man vermuten, daß in gewissen Fällen die Gesamtentropie zweier Systeme verschieden ist von der Summe der Einzelentropien. Der Nachweis, daß solche Fälle wirklich in der Natur vorkommen, ist kürzlich in der Tat von Max Laue geliefert worden. Zwei ganz oder teilweise „kohärente" Lichtstrahlen (die der nämlichen Lichtquelle entstammen) sind im Sinne der Wahrscheinlichkeitsrechnung nicht unabhängig voneinander, weil durch die Partialschwingungen des einen Strahles die des anderen zum Teil mitbestimmt sind. Nun kann man tatsächlich eine einfache optische Vorrichtung ersinnen, durch welche erreicht wird, daß zwei kohärente Strahlen von beliebiger Temperatur sich direkt in zwei andere verwandeln, die eine größere Temperaturdifferenz besitzen. Also der alte Clausiussche Grundsatz, daß Wärme nicht ohne Kompensation von einem kälteren zu einem wärmeren Körper gehen kann, gilt nicht für kohärente Wärmestrahlen. Aber das Prinzip der Vermehrung der Entropie behält auch hier seine Gültigkeit; nur ist die Entropie der ursprünglichen Strahlen nicht gleich der Summe ihrer Einzelentropien, sondern kleiner [1]).

Ganz ähnlich verhält es sich nun offenbar mit der oben aufgeworfenen Frage nach der eventuellen Umwandlung der Brownschen Molekularbewegung in nutzbare Arbeit. Denn eine Vorrichtung, welche richtend und ordnend auf die einzelnen bewegten Partikel wirken würde, mag sie nun technisch herstellbar sein oder nicht, sie wäre jedenfalls, sobald sie in Funktion tritt, mit den Bewegungen der Partikel in gewissem Sinne „kohärent", und deshalb würde es keineswegs einen Widerspruch gegen den zweiten Hauptsatz bedeuten, wenn aus ihrer Wirksamkeit nutzbare lebendige Kraft hervorginge. Man hat nur zu berücksichtigen, daß die Entropie der Molekularbewegung sich nicht einfach zu der Entropie jener Vorrichtung hinzuaddieren würde.

Derartige Betrachtungen zeigen, wie vorsichtig man bei der Berechnung der Entropie eines zusammengesetzten Systems aus den Entropien der Teilsysteme zu verfahren hat. Man muß streng genommen bei jedem Teilsystem erst fragen, ob nicht vielleicht an irgendeiner anderen Stelle des ganzen Systems ein kohärentes Teilsystem vorhanden ist; sonst könnten sich im Falle einer Wechselwirkung der beiden Teilsysteme ganz unerwartete, dem Entropieprinzip scheinbar widersprechende Vorgänge ereignen. Kommen aber die beiden Teilsysteme nicht zur Wechselwirkung, so würde der durch die Nichtbeachtung ihrer Kohärenz begangene Fehler gar nicht bemerklich werden.

Wird man durch diese eigentümlichen Folgeerscheinungen der Kohärenz nicht unwillkürlich an die geheimnisvollen Wechselbeziehungen im geistigen Leben erinnert, die häufig ganz verborgen bleiben und daher auch ohne Nachteil ignoriert werden können, die aber, falls einmal besondere äußere Umstände zusammentreffen, zu ganz ungeahnten Wirkungen sich entfalten können?

Ja, wenn wir einmal unserer Phantasie freien Lauf lassen wollten, so dürften wir die Möglichkeit nicht von der Hand weisen, daß vielleicht in Entfernungen, deren Größe durch keine unserer Messungsmethoden faßbar ist, zu der uns umgebenden Körperwelt gewisse kohärente Körper existieren, die, solange sie von den unserigen getrennt bleiben, sich ebenso wie diese durchaus normal verhalten, sobald sie aber mit ihnen in Wechselwirkung treten würden, scheinbare, aber auch nur scheinbare Ausnahmen vom Entropieprinzip hervorrufen könnten. Auf diese Weise könnte die von seiten des zweiten Hauptsatzes drohende Gefahr des allgemeinen Wärmetodes, welche vielen Physikern und Philosophen diesen Satz unsympathisch gemacht hat, abgewendet werden, ohne daß seine Allgemeingültigkeit überhaupt angetastet zu werden braucht. Aber auch ohne dieses künstliche Auskunftsmittel scheint mir schon wegen der unbegrenzten Ausdehnung der unserer Beobachtung zugänglichen Welt jene Gefahr nicht irgendwelcher Beunruhigung wert zu sein; harren doch gegenwärtig viele weit dringendere Fragen ihrer Bearbeitung.

1) M. Laue, Ann. d. Phys. **20**, 365, 1906; **23**, 1, 795, 1907; Verh. d. Dtsch. Physik. Ges. **9**, 606, 1907; diese Ztschr. **9**, 778, 1908.

IV.

Ich habe versucht, Ihnen in Kürze einige der Grundlinien anzudeuten, welche das physikalische Weltbild der Zukunft vermutlich einmal aufweisen wird. Überschauen wir nun rückwärts blickend die Wandlungen, welche das Weltbild im Laufe der Entwicklung der Wissenschaft durchgemacht hat und vergegenwärtigen wir uns wieder die oben gefundenen charakteristischen Merkmale dieser Entwicklung, so muß man zugeben, daß das Zukunftsbild gegenüber der bunten Farbenpracht des ursprünglichen Bildes, welches den mannigfachen Bedürfnissen des menschlichen Lebens entsprossen war und zu welchem alle spezifischen Sinnesempfindungen ihren Beitrag beigesteuert hatten, merklich abgeblaßt und nüchtern, der unmittelbaren Evidenz beraubt erscheint, und dies ist für die Verwertung in einer exakten Wissenschaft ein schwerer Nachteil. Dazu kommt noch der gravierende Umstand, daß eine absolute Ausschaltung der Sinnesempfindungen ja gar nicht möglich ist, da wir doch die anerkannte Quelle aller unserer Erfahrungen nicht verstopfen können, daß also von einer direkten Erkenntnis des Absoluten gar nicht die Rede sein kann.

Welches ist denn nun das eigentümliche Moment, welches trotz dieser offenbaren Nachteile dem zukünftigen Weltbild dennoch einen so entscheidenden Vorrang verschafft, daß es sich gegen alle früheren durchsetzen kann? — Es ist nichts anderes als die Einheit des Bildes. Die Einheit in bezug auf alle Einzelzüge des Bildes, die Einheit in bezug auf alle Orte und Zeiten, die Einheit in bezug auf alle Forscher, alle Nationen, alle Kulturen.

Sehen wir nämlich genauer zu, so glich das alte System der Physik gar nicht einem einzigen Bild, sondern viel eher einer Gemäldesammlung; denn für jede Klasse von Naturerscheinungen hatte man ein besonderes Bild. Und diese verschiedenen Bilder hingen nicht miteinander zusammen; man konnte eins von ihnen entfernen, ohne die anderen zu beeinträchtigen. Das wird in dem zukünftigen physikalischen Weltbild nicht möglich sein. Kein einziger Zug desselben wird als unwesentlich fortgelassen werden können, jeder ist vielmehr unentbehrlicher Bestandteil des Ganzen und besitzt als solcher eine bestimmte Bedeutung für die beobachtete Natur, und umgekehrt wird und muß jede beobachtbare physikalische Erscheinung in dem Bilde einen ihr genau entsprechenden Platz finden. Hierin liegt ein wesentlicher Unterschied gegenüber gewöhnlichen Bildern, die wohl in gewissen, aber durchaus nicht in allen Zügen dem Original zu entsprechen brauchen, — ein Unterschied, der, wie ich glaube, bisweilen auch in Physikerkreisen nicht genug beachtet wird. Findet man doch gerade in der neueren Fachliteratur gelegentlich Bemerkungen wie die, man müsse bei Anwendungen der Elektronentheorie oder der kinetischen Gastheorie sich stets gegenwärtig halten, daß sie nur ein angenähertes Bild der Wirklichkeit zu geben beanspruche. Wenn diese Bemerkung etwa so ausgelegt würde, daß man nicht von allen Konsequenzen der kinetischen Gastheorie eine Anpassung an die Erfahrungstatsachen verlangen dürfe, so würde eine solche Auffassung auf einem argen Mißverständnis beruhen.

Als Rudolf Clausius um die Mitte des vorigen Jahrhunderts aus den Grundannahmen der kinetischen Gastheorie gefolgert hatte, daß die Geschwindigkeiten der Gasmolekeln bei gewöhnlichen Temperaturen sich nach Hunderten von Metern pro Sekunde bemessen, wurde ihm als Einwand entgegengehalten, daß zwei Gase nur sehr langsam ineinander diffundieren, und daß lokale Temperaturschwankungen in Gasen sich ebenfalls nur sehr langsam ausgleichen. Da berief sich Clausius zur Stütze seiner Hypothese nicht etwa darauf, daß dieselbe ja nur ein angenähertes Bild der Wirklichkeit vorstellen solle und daß man nicht zu viel von ihr verlangen dürfe, sondern er zeigte durch Berechnung der mittleren freien Weglänge, daß das von ihm entworfene Bild auch in den beiden namhaft gemachten Zügen den physikalischen Beobachtungen wirklich entspricht. Denn er war sich sehr wohl bewußt, daß mit der Feststellung eines einzigen definitiven Widerspruchs die neue Gastheorie ihren Platz im physikalischen Weltbild unwiderruflich verlieren müsse; und das nämliche gilt auch noch heutzutage.

Gerade auf der Berechtigung dieser hohen an das physikalische Weltbild zu stellenden Anforderungen beruht nun offenbar die werbende Kraft, mit der sich dasselbe schließlich die allgemeine Anerkennung erzwingt, unabhängig vom guten Willen des einzelnen Forschers, unabhängig von den Nationalitäten und von den Jahrhunderten, ja unabhängig vom Menschengeschlecht überhaupt. Die letzte Behauptung will allerdings auf den ersten Blick sehr gewagt, wenn nicht absurd erscheinen. Aber erinnern wir uns z. B. unserer früheren gelegentlichen Schlußfolgerung bezüglich der Physik der Marsbewohner, so wird man mindestens zugeben müssen, daß die behauptete Verallgemeinerung nur eine derjenigen ist, wie man sie in der Physik täglich übt, wenn man über das direkt Beobachtete hinaus Schlüsse macht, die nie und nimmer durch menschliche Beobachtungen geprüft werden können, und daß daher jedenfalls jemand, der ihnen Sinn und Beweiskraft ab-

erkennt, sich selber damit von der physikalischen Denkweise lossagt.

Kein Physiker zweifelt wohl an der Zulässigkeit der Behauptung, daß ein mit physikalischer Intelligenz begabtes Geschöpf, welches ein spezifisches Organ für ultraviolette Strahlen besitzt, diese Strahlen als gleichartig mit den sichtbaren anerkennen würde, obwohl noch niemand weder einen ultravioletten Strahl noch ein solches Geschöpf gesehen hat, und kein Chemiker trägt Bedenken, dem auf der Sonne vorhandenen Natrium dieselben chemischen Eigenschaften zuzuschreiben wie dem irdischen Natrium, obwohl er nicht hoffen kann, jemals sein Reagenzglas mit einem Salz von Sonnennatrium zu füllen.

Mit den letzten Ausführungen sind wir schon in die Beantwortung derjenigen Fragen eingetreten, welche ich in meinen einleitenden Worten an den Schluß gestellt habe: Ist das physikalische Weltbild lediglich eine mehr oder minder willkürliche Schöpfung unseres Geistes, oder finden wir uns zu der gegenteiligen Auffassung getrieben, daß es reale, von uns ganz unabhängige Naturvorgänge widerspiegelt? Konkreter gesprochen: Dürfen wir vernünftigerweise behaupten, daß das Prinzip der Erhaltung der Energie in der Natur schon gegolten hat, als noch kein Mensch darüber nachdenken konnte, oder daß die Himmelskörper sich auch dann noch nach dem Gravitationsgesetz bewegen werden, wenn unsere Erde mit allen ihren Bewohnern in Trümmer gegangen ist?

Wenn ich im Hinblick auf alles Bisherige diese Frage mit ja beantworte, so bin ich mir dabei wohl bewußt, daß diese Antwort sich in gewissem Gegensatz befindet zu einer Richtung der Naturphilosophie, die gerade gegenwärtig unter der Führung von Ernst Mach sich großer Beliebtheit gerade in naturwissenschaftlichen Kreisen erfreut. Danach gibt es keine andere Realität als die eigenen Empfindungen, und alle Naturwissenschaft ist in letzter Linie nur eine ökonomische Anpassung unserer Gedanken an unsere Empfindungen, zu der wir durch den Kampf ums Dasein getrieben werden. Die Grenze zwischen Physischem und Psychischem ist lediglich eine praktische und konventionelle, die eigentlichen und einzigen Elemente der Welt sind die Empfindungen[1]).

Halten wir den letzten Satz mit dem zusammen, was wir unserer Überschau über den tatsächlichen Entwicklungsgang der Physik entnommen haben, so gelangen wir notwendig zu dem eigentümlichen Schluß, daß das charakteristische Merkmal dieser Entwicklung seinen Ausdruck findet in der fortschreitenden Elimi-

1) Ernst Mach, Beiträge zur Analyse der Empfindungen. Jena 1886, S. 23, 142.

nierung der eigentlichen Elemente der Welt aus dem physikalischen Weltbilde. Jeder gewissenhafte Physiker müßte demnach stets sorgfältig bemüht sein, das eigene Weltbild als etwas begrifflich Einzigartiges und von allen anderen total Verschiedenes genau zu unterscheiden, und wenn einmal zwei seiner Fachgenossen, die ganz unabhängig voneinander den nämlichen physikalischen Versuch angestellt haben, dabei entgegengesetzte Resultate gefunden zu haben behaupten, was ja gelegentlich vorkommt, so würde er einen prinzipiellen Fehler begehen, wenn er etwa schließen wollte, daß mindestens einer von den beiden im Irrtum befindlich sein muß. Denn der Gegensatz könnte ja auch durch einen Unterschied der beiderseitigen Weltbilder bedingt sein. — Ich glaube nicht, daß ein richtiger Physiker jemals auf solch seltsame Gedankengänge verfallen würde.

Indessen will ich gern zugeben, daß eine erfahrungsgemäß enorme Unwahrscheinlichkeit von der prinzipiellen Unmöglichkeit praktisch nicht abweicht; aber das möchte ich dafür hier um so ausdrücklicher hervorheben, daß die Angriffe, welche von jener Seite her gegen die atomistischen Hypothesen und gegen die Elektronentheorie gerichtet werden, unberechtigt und unhaltbar sind. Ja ich möchte ihnen geradezu die Behauptung entgegensetzen, — und ich weiß, daß ich damit nicht allein stehe —: die Atome, so wenig wir von ihren näheren Eigenschaften wissen, sind nicht mehr und nicht weniger real als die Himmelskörper oder als die uns umgebenden irdischen Objekte; und wenn ich sage: ein Wasserstoffatom wiegt $1{,}6 \cdot 10^{-24}$ g, so enthält dieser Satz keine geringere Art von Erkenntnis wie der, daß der Mond $7 \cdot 10^{25}$ g wiegt. Freilich kann ich ein Wasserstoffatom weder auf die Wagschale legen noch kann ich es überhaupt sehen, aber den Mond kann ich auch nicht auf die Wagschale legen, und was das Sehen betrifft, so gibt es bekanntlich auch unsichtbare Himmelskörper, deren Masse mehr oder weniger genau gemessen ist; wurde doch ja auch die Masse des Neptun gemessen, noch ehe überhaupt ein Astronom sein Fernglas auf ihn richtete. Eine Methode physikalischer Messung aber, bei der jedwede auf Induktion beruhende Erkenntnis ausgeschaltet ist, existiert überhaupt nicht; das gilt auch für die direkte Wägung. Ein einziger Blick in ein Präzisionslaboratorium zeigt uns die Summe von Erfahrungen und Abstraktionen, welche gerade in einer solchen scheinbar so einfachen Messung enthalten ist.

Es bleibt uns noch übrig zu fragen, woher es denn kommt, daß die Machsche Erkenntnistheorie eine so große Verbreitung unter den Naturforschern gefunden hat. Täusche ich mich nicht, so bedeutet sie im Grunde eine Art

Reaktion gegen die stolzen Erwartungen, die man vor einem Menschenalter, im Gefolge der Entdeckung des Energieprinzips, an die speziell mechanische Naturanschauung geknüpft hatte, wie man sie z. B. in den Schriften Emil du Bois-Reymonds niedergelegt finden kann. Ich will nicht sagen, daß diese Erwartungen nicht manche hervorragende Leistungen von bleibendem Wert gezeitigt haben — ich nenne nur die kinetische Gastheorie —, aber in vollem Umfang genommen haben sie sich doch als übertrieben herausgestellt, ja die Physik hat durch die Einführung der Statistik in ihre Betrachtungen auf eine vollständige Durchführung der Mechanik der Atome grundsätzlich verzichtet. Ein philosophischer Niederschlag der unausbleiblichen Ernüchterung war der Machsche Positivismus. Ihm gebührt in vollem Maße das Verdienst, angesichts der drohenden Skepsis den einzig legitimen Ausgangspunkt aller Naturforschung in den Sinnesempfindungen wiedergefunden zu haben. Aber er schießt über das Ziel hinaus, indem er mit dem mechanischen Weltbild zugleich das physikalische Weltbild überhaupt degradiert.

So fest ich davon überzeugt bin, daß dem Machschen System, wenn es wirklich folgerichtig durchgeführt wird, kein innerer Widerspruch nachzuweisen ist, ebenso sicher scheint es mir ausgemacht, daß seine Bedeutung im Grunde nur eine formalistische ist, welche das Wesen der Naturwissenschaft gar nicht trifft, und dies deshalb, weil ihm das vornehmste Kennzeichen jeder naturwissenschaftlichen Forschung: die Forderung eines konstanten, von dem Wechsel der Zeiten und Völker unabhängigen Weltbildes fremd ist. Das Machsche Prinzip der Kontinuität bietet hierfür keinen Ersatz; denn Kontinuität ist nicht Konstanz.

Das konstante einheitliche Weltbild ist aber gerade, wie ich zu zeigen versucht habe, das feste Ziel, dem sich die wirkliche Naturwissenschaft in allen ihren Wandlungen fortwährend annähert, und in der Physik dürfen wir mit Recht behaupten, daß schon unser gegenwärtiges Weltbild, obwohl es je nach der Individualität des Forschers noch in den verschiedensten Farben schillert, dennoch gewisse Züge enthält, welche durch keine Revolution, weder in der Natur noch im menschlichen Geiste, je mehr verwischt werden können. Dieses Konstante, von jeder menschlichen, überhaupt jeder intellektuellen Individualität Unabhängige ist nun aber das, was wir das Reale nennen. Oder gibt es z. B. heute wirklich noch einen ernst zu nehmenden Physiker, der an der Realität des Energieprinzips zweifelt? Eher umgekehrt: man macht die Anerkennung dieser Realität zu einer Vorbedingung bei der wissenschaftlichen Wertschätzung.

Freilich, darüber, wie weit man gehen darf in der Zuversicht, schon jetzt die Grundzüge des Weltbildes der Zukunft festgelegt zu haben, lassen sich keine allgemeinen Regeln aufstellen. Hier ist die größte Vorsicht am Platze. Aber um diese Fragen handelt es sich erst in zweiter Linie. Worauf es hier einzig und allein ankommt, ist die Anerkennung eines solchen festen, wenn auch niemals ganz zu erreichenden Zieles, und dieses Ziel ist — nicht die vollständige Anpassung unserer Gedanken an unsere Empfindungen, sondern — die vollständige Loslösung des physikalischen Weltbildes von der Individualität des bildenden Geistes. Es ist dies eine etwas genauere Umschreibung dessen, was ich oben die Emanzipierung von den anthropomorphen Elementen genannt habe, um das Mißverständnis auszuschließen, als ob das Weltbild von dem bildenden Geist überhaupt losgelöst werden sollte; denn das wäre ein widersinniges Beginnen.

Zum Schluß noch ein Argument, das vielleicht auf diejenigen, welche trotz alledem den menschlich-ökonomischen Gesichtspunkt als den eigentlich ausschlaggebenden hinzustellen geneigt sind, mehr Eindruck macht als alle bisherigen sachlichen Überlegungen. Als die großen Meister der exakten Naturforschung ihre Ideen in die Wissenschaft warfen: als Nicolaus Copernicus die Erde aus dem Zentrum der Welt entfernte, als Johannes Kepler die nach ihm benannten Gesetze formulierte, als Isaak Newton die allgemeine Gravitation entdeckte, als Ihr großer Landsmann Christian Huygens seine Undulationstheorie des Lichtes aufstellte, als Michael Faraday die Grundlagen der Elektrodynamik schuf, — die Reihe wäre noch lange fortzusetzen — da waren ökonomische Gesichtspunkte sicherlich die allerletzten, welche diese Männer in ihrem Kampfe gegen überlieferte Anschauungen und gegen überragende Autoritäten stählten. Nein — es war ihr felsenfester, sei es auf künstlerischer, sei es auf religiöser Basis ruhender Glaube an die Realität ihres Weltbildes. Angesichts dieser doch gewiß unanfechtbaren Tatsache läßt sich die Vermutung nicht von der Hand weisen, daß, falls das Machsche Prinzip der Ökonomie wirklich einmal in den Mittelpunkt der Erkenntnistheorie gerückt werden sollte, die Gedankengänge solcher führender Geister gestört, der Flug ihrer Phantasie gelähmt und dadurch der Fortschritt der Wissenschaft vielleicht in verhängnisvoller Weise gehemmt werden würde. Wäre es da nicht wahrhaft „ökonomischer", dem Prinzip der Ökonomie einen etwas bescheideneren Platz anzuweisen? Übrigens werden Sie schon aus der Formulierung dieser Frage ersehen, daß ich selbstverständlich weit davon entfernt bin, die Rücksicht auf die Ökonomie in höherem Sinne außer acht lassen oder gar verbannen zu wollen.

Ja, wir können noch einen Schritt weitergehen. Jene Männer sprachen gar nicht von ihrem Weltbild, sondern sie sprachen von der Welt oder der Natur selbst. Ist nun zwischen ihrer „Welt" und unserem „Weltbild der Zukunft" irgendein erkennbarer Unterschied? Sicherlich nicht. Denn daß es gar keine Methode gibt, einen solchen Unterschied zu prüfen, ist durch Immanuel Kant Gemeingut aller Denker geworden. Der zusammengesetzte Ausdruck „Weltbild" ist nur der Vorsicht halber üblich geworden, um gewisse Illusionen von vornherein auszuschließen. Wir können ihn also, wenn wir uns nur vornehmen, die erforderliche Vorsicht anzuwenden und hinter dem Worte Welt nichts weiter zu suchen als jenes ideale Zukunftsbild, auch wieder durch das einfache Wort ersetzen und gelangen dann zu einer mehr realistischen Ausdrucksweise, die sich nun gerade auch vom ökonomischen Standpunkte aus augenscheinlich weit mehr empfiehlt als der im Grunde äußerst komplizierte und schwer ganz durchzudenkende Machsche Positivismus, und die ja auch tatsächlich von den Physikern stets angewendet wird, wenn sie in der Sprache ihrer Wissenschaft reden. —

Ich habe soeben von Illusionen gesprochen. Nun wäre es ganz gewiß auch von meiner Seite eine arge Illusion, wenn ich hoffen wollte, mit meinen Ausführungen allgemein überzeugt zu haben, ja auch nur allgemein verständlich gewesen zu sein; und ich werde mich also auch sorgfältig hüten, ihr anheim zu fallen. Sicherlich wird über diese prinzipiellen Fragen noch vieles gedacht und geschrieben werden; denn der Theoretiker sind viele, und das Papier ist geduldig. Deshalb wollen wir um so einstimmiger und rückhaltloser dasjenige betonen, was von uns allen ohne Ausnahme jederzeit anerkannt und beherzigt werden muß: das ist in erster Linie die Gewissenhaftigkeit in der Selbstkritik, verbunden mit der Ausdauer im Kampfe für das einmal als richtig Erkannte, in zweiter Linie die ehrliche, auch durch Mißverständnisse nicht zu erschütternde Achtung vor der Persönlichkeit wissenschaftlicher Gegner, und im übrigen das ruhige Vertrauen auf die Kraft desjenigen Wortes, welches seit nunmehr neunzehnhundert Jahren als letztes, untrüglichstes Kennzeichen die falschen Propheten von den wahren scheiden lehrt: An ihren Früchten sollt Ihr sie erkennen!

(Eingegangen 19. Dezember 1908.)

BESPRECHUNGEN.

O. Hecker, Seismometrische Beobachtungen in Potsdam in der Zeit vom 1. Januar bis 31. Dezember 1907. (Veröffentlichungen des Königl. Preußischen Geodätischen Instituts. Neue Folge Nr. 35.) 8. 64 S. Berlin, Reichsdruckerei. 1908.

Die seismischen Störungen wurden wie in den früheren Jahren an zwei Horizontalpendeln und einem Wiechertschen astatischen Pendelseismometer beobachtet. Die Zusammenstellung enthält die aufgezeichneten größeren und kleineren Beben, sowie die mikroseismischen Bodenbewegungen in der üblichen Form.

E. Przybyllok.

Comte de Montessus de Ballore, La science séismologique (Les tremblements de terre). Avec une préface par Ed. Suess. 222 figures et cartes dans le texte et hors texte. 8. VII und 579 S. Paris, Armand Colin. 1907. Broché 16 fr.

In seiner vor etwa zwei Jahren erschienenen Géographie séismologique hatte der Verfasser eine allgemeine Übersicht über den Zusammenhang der seismischen Erscheinungen mit der geologischen Beschaffenheit der Erdoberfläche gegeben. Das vorliegende Werk bildet zu dem früheren gewissermaßen eine Ergänzung; doch ist es allgemeiner gehalten, es will den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnisse von den seismischen Erscheinungen dem Leser übermitteln. Eine historische Übersicht über die Entwickelung der Seismologie dient zur Einführung. Der weitere Inhalt ist dann in drei Teile gegliedert, deren erster die der direkten Beobachtung zugänglichen makroseismischen Erscheinungen behandelt, über die naturgemäß das meiste Beobachtungsmaterial vorliegt. Zu den mikroseismischen Bewegungen leitet über eine Beschreibung aller der Instrumente, die zur Beobachtung und Aufzeichnung von Erdbeben benutzt werden. Die Deutung der Seismogramme, die Natur der mikroseismischen Bewegung und ihre Anwendung auf die Erforschung der Konstitution des Erdballs finden hier eingehende Berücksichtigung. Den Schluß bildet dann ein Kapitel praktischer Erdbebenkunde: die Wirkung der großen zerstörenden Beben auf die Erdkruste und in der Folge auch auf die verschiedenen Konstruktionen von Gebäuden. Gerade dieses letzte Kapitel zeichnet das Buch besonders aus vor älteren Werken gleicher Art. Eine große Zahl von Abbildungen erläutert den Text, aber nicht alle stehen auf der Höhe moderner Reproduktionstechnik. Zur Einführung in die Erdbebenkunde wird das Buch sehr geeignet sein und als solches wird es zweifellos

die ihm gebührende Verbreitung und Beachtung finden. E. Przybyllok.

Comité International des poids et mesures. Procès-verbaux des Séances. Deuxième Série. Tome IV. Session de 1907. 8. VI und 225 S. Paris, Gauthier-Villars. 1907.

Travaux et Mémoires du Bureau international des poids et mesures. Publiés sous les auspices du Comité international par le Directeur du bureau. Tome XIII. gr. 4. IX und 344 S. Paris, Gauthier-Villars. 1907.

Die Procès-verbaux enthalten fast ausschließlich Sitzungsberichte und geschäftliche Mitteilungen, von allgemeinerem Interesse sind hingegen die Travaux et Mémoires, in denen die wissenschaftlichen Arbeiten der Mitglieder des Bureaus veröffentlicht werden. In diesem Bande untersucht Chappuis die Beziehungen des Stickstoff- und Kohlensäurethermometers zum Wasserstoffthermometer unter konstantem Volumen, welches seit 1888 der gesamten Thermometrie zugrunde liegt. Die Vergleichung erfolgte indirekt über vier Quecksilberthermometer, deren Fehler bekannt waren. Die hier erhaltenen Daten dienen als Basis für eine eingehende theoretische Untersuchung der Gasthermometer und der Reduktion ihrer Angaben auf die absolute Temperaturskala von Berthelot. Als absoluter Nullpunkt resultiert übrigens 273,08° aus Chappuis' Messungen. Letzterer hat ferner die Ausdehnung des Quecksilbers in einem Hartglasdilatometer und die des Wassers mit demselben Apparat sowie mit einem Platiniridiumdilatometer bestimmt. Die Resultate sind in Tabellen niedergelegt. Die beiden folgenden Arbeiten sind von rein metrologischem Interesse, sie behandeln die Bestimmung der Teilfehler von Maßstäben und die dazu verwendeten Instrumente, sowie die Kalibrierung von Gewichtssätzen. E. Przybyllok.

R. Neuhauß, Lehrbuch der Projektion. Zweite, umgearbeitete Auflage. gr. 8. VIII u. 141 S. mit 71 Abbildungen. Halle a/S., Wilhelm Knapp. 1908. M. 4,—.

Das Buch ist allgemeinverständlich geschrieben, also vornehmlich für den großen Kreis der Nichtphysiker bestimmt, die Vorträge durch Vorführungen von Projektionsbildern ergänzen oder beleben wollen. Es zerfällt in drei Abschnitte, im ersten werden die einzelnen Teile des Projektionsapparates eingehend besprochen, im zweiten Teil Projektionsapparate für besondere Zwecke (Projektion farbiger Bilder, stereoskopische und mikroskopische Projektion) beschrieben, das Schlußkapitel gibt einige praktische Regeln für die Vorführung von Projektionsbildern. Der Leser merkt bald, daß der Verfasser das Buch nicht nach dem beliebten Relata refero zusammengeschrieben hat, sondern daß das meiste aus der eigenen praktischen Erfahrung des Verfassers stammt. Gewiß würde das Buch, besonders im Hinblick darauf, daß es für Laien geschrieben ist, noch gewinnen, wenn ein allgemeines Kapitel mit der Beschreibung des Strahlengangs bei der Projektion der Beschreibung der einzelnen Teile des Projektionsapparates vorausginge. Riesenfeld.

P. Eichmann, Photographische Belichtungstabelle Helios. gr. 16. 73 S. mit 1 Drehscheibe. Berlin, Gustav Schmidt. 1908. Gebunden M. 2,50.

Wie bei Wynnes bekanntem Expositionsmesser „Infallible" ist der wesentliche Bestandteil des Buches eine Drehscheibe, die für jede beliebige Helligkeit und Blendenöffnung die richtige Expositionszeit abzulesen gestattet. Die Berechnung der Expositionszeit mit Hilfe der Belichtungstabelle aber wird dadurch komplizierter und weniger genau, als die mittelst des Photometers, daß die chemische Lichtintensität nicht durch direkte Messung ermittelt wird, sondern aus einer Tabelle entnommen werden muß, in der die Änderung der Belichtungszahl für die verschiedenen Tages- und Jahreszeiten je nach der Bewölkung nach den Messungen von Bunsen und Roscoe berechnet ist. Als Beispiel für die Kritiklosigkeit, mit der die Tabellen zusammengestellt sind, sei erwähnt, daß für Tunis und Kopenhagen die Abweichung von der mitteleuropäischen Zeit (—10 und —19 Minuten) angegeben ist, aber der Einfluß der geographischen Breite nicht berücksichtigt wird. Riesenfeld.

A. v. Hübl, Das Kopieren bei elektrischem Licht. (Enzyklopädie der Photographie Heft 59.) VI u. 56 S. mit 20 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. Halle a/S., Wilhelm Knapp. 1908. M. 1,80.

Das vorliegende Werk ist eine kritische Studie, in der die Brauchbarkeit verschiedener Systeme elektrischer Lampen zum Kopieren photographischer Bilder wissenschaftlich untersucht wird. Die gewöhnliche Bogenlampe wird mit der von den Siemens-Schuckert-Werken in den Handel gebrachten Bivoltalampe, der Reginalampe und der Quecksilberdampflampe verglichen. Verfasser findet, daß an Ökonomie die Reginalampe den andern überlegen ist, die Quecksilberdampflampe kommt erst an zweiter Stelle. An ruhigem Brennen aber übertreffen die Quecksilberlampen alle übrigen, auch haben sie den Vorzug, daß sie ein sehr diffuses Licht ausstrahlen. Riesenfeld.

A. Parzer-Mühlbacher, Röntgen-Photographie. (Photographische Bibliothek, Bd. 6.) Zweite, neu bearbeitete Auflage. IV u. 95 S. mit 8 Tafeln und 29 Figuren im Text. Berlin, Gustav Schmidt. 1908. M. 2,50, gebd. M. 3,—.

In dem Buch wird gezeigt, wie der praktische Arzt mit den billigsten und am leichtesten zu beschaffenden Hilfsmitteln ganz brauchbare Röntgenphotographien herstellen kann. Als Elektrizitätsquelle wird eine Influenz-Elektrisiermaschine empfohlen. Riesenfeld.

E. E. Fournier d'Albe, Die Elektronentheorie. Gemeinverständliche Einführung in die moderne Theorie der Elektrizität und des Magnetismus. Autorisierte Übersetzung v. J. Herweg. 8. VI u. 332 S. mit 35 Figuren. Leipzig, Joh. Ambr. Barth. 1908. M. 4,80, gebunden M. 5,60

Das vorliegende Werk hält auf seinen reichlich 300 Textseiten wirklich das, was es im Titelblatt verspricht, nämlich ein gemeinverständlicher Führer in die neueren Theorien zu sein. In diesem Sinne verdient es aufrichtig empfohlen zu werden. E. Bose.

Contributions from the Jefferson Physical Laboratory of Harvard University. Bd. 4 für 1906 und Bd. 5 für 1907. Cambridge, Mass. U.S.A.

Dem Referenten liegen zwei neue Bände Arbeiten aus dem Jefferson-Laboratorium vor, welche wie die früheren ein beredtes Zeugnis ablegen von dem regen wissenschaftlichen Leben in diesem Institut.

Die einzelnen Arbeiten entstammen den verschiedensten Gebieten der Physik, z. B. auch der Akustik, wenngleich die Elektrizitätslehre, wie zu erwarten, den Hauptanteil liefert. E. Bose.

B. Donath, Physikalisches Spielbuch für die Jugend. 2. vermehrte und verbesserte Auflage. 8. XVI u. 510 S. mit 166 Abbildungen. Braunschweig, Friedr. Vieweg & Sohn. 1907. M. 5,—, gebunden M. 6.—

Das „Physikalische Spielbuch" ist nach seiner ersten Auflage in dieser Zeitschrift (4, 856, 1903) eingehend gewürdigt worden. Dem damaligen überaus lobenden Urteil hat der Referent nichts hinzuzufügen. Auch die zweite Auflage wird gewiß ihren wohlverdienten Leserkreis finden. E. Bose.

Svante Arrhenius, Untersuchungen über die galvanische Leitfähigkeit der Elektrolyte. (Ostwalds Klassiker. Nr. 160.) Übersetzt von Anna Hamburger und herausgegeben von Otto Sackur. 8. 153 S. mit 6 Figuren. Leipzig, W. Engelmann. 1907. Kart. M. 2.50

Die Nachricht, daß Arrhenius' grundlegende ausführliche Abhandlung, welche den Grundstein zu seiner Dissoziationstheorie der Elektrolyte bildet, nunmehr bequem zugänglich geworden ist, dürfte an dieser Stelle als Hinweis völlig genügen. Hinzufügen möchte Referent jedoch noch, daß die geschickte dem Original vorzüglich angepaßte Übersetzung, sowie die vom Herausgeber beigefügten und von Arrhenius selbst ergänzten Anmerkungen alles Lob verdienen. E. Bose.

Christian Doppler, Abhandlungen. (Ostwalds Klassiker. Nr. 161.) Herausgegeben v. H. A. Lorentz. 8. 195 S. mit 36 Figuren u. 1 Bildnis. Leipzig, W. Engelmann. 1907.

Die wachsende Bedeutung des sogenannten Dopplerschen Prinzips rechtfertigt durchaus die Herausgabe einer Reihe von Abhandlungen Dopplers. Daß der Herausgeber H. A. Lorentz ist und dessen Anmerkungen fast $^1/_6$ des Gesamtumfanges ausmachen, dürfte zugleich die beste Empfehlung sein, die dem Büchlein mitgegeben werden konnte. E. Bose.

G. Bruni, Feste Lösungen und Isomorphismus. 8. VI u. 130 S. Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft. 1908. M. 4,—, gebunden M. 5,—

Ursprünglich ein Vortrag, den der auf dem Gebiete der festen Lösungen rühmlichst bekannte Verfasser vor der chemischen Gesellschaft zu Breslau gehalten hat, stellt das Werkchen in seiner erweiterten und mit zahlreichen Anmerkungen versehenen Form einen überaus wohlgelungenen Überblick über das ganze in Frage kommende Gebiet dar, der als sicherer Führer zur Orientierung über alle hier auftretenden Fragestellungen angelegentlichst empfohlen zu werden verdient. E. Bose.

J. G. Gray, A bibliography of the Works of Sir Isaac Newton. Together with a list of books illustrating his Works. Second edition, revised and enlarged. gr. 8. 80 S. Cambridge, Bowes and Bowes. 1907. 5 sh net.

Nicht nur die Werke Newtons, sondern auch die Arbeiten über seine Werke sind hier in denkbarst vollständiger Weise zusammengestellt. E. Bose.

G. C. Young u. W. H. Young, Der kleine Geometer. Deutsche Ausgabe. Besorgt von S. u. F. Bernstein. 8. XVI u. 239 S. mit 127 Textfiguren u. 3 bunten Tafeln. Leipzig, B. G. Teubner. 1908. Gebunden M. 3,—

Das vorliegende Büchlein ist ein ganz einzigartiges Werkchen; von einer Mutter für ihre Kinder geschrieben, führt es mit den einfachsten Mitteln der Darstellung in die Geometrie der Ebene und des Raumes ein. Eine besondere Rolle spielt dabei die Herstellung körperlicher Modelle aus Papier, wobei die dem Niveau kindlichen Denkens und kindlicher manueller Leistungsfähigkeit geschickt angepaßte Darstellung trotz aller Einfachheit niemals die mathematische Strenge außer acht läßt.

Bestimmt ist das Buch in erster Linie für Kinder im Alter von 7—8 Jahren unter der Annahme, daß der Unterricht selbst von seiten mathematisch interessierter Eltern erfolgt, die bestrebt sind, ihren Kindern in der Form eines scheinbaren Spiels Gelegenheit zur Ausbildung ihres räumlichen Vorstellungsvermögens und exakten Denkens zu geben. E. Bose.

H. Bock, Die Uhr. Grundlagen und Technik der Zeitmessung. (Aus Natur und Geisteswelt. 216. Bändchen.) 8. IV u. 136 S. mit 47 Abbildungen. Leipzig, B. G. Teubner. 1908. In Leinen gebunden M. 1.25

Der Verfasser hat es in sehr geschickter, dem gemeinverständlichen Grundgedanken der Sammlung durchaus angepaßter Weise verstanden, alles für die exakte Zeitmessung sowohl wie für die Zeitkundgebung wesentliche übersichtlich darzustellen, so daß das reichlich illustrierte Werkchen sich gewiß einen Kreis befriedigter Leser erwerben wird. E. Bose.

W. Louguinine u. A. Schukarew, Méthodes de calorimétrie usitées au Laboratoire thermique de l'Université de Moscou. Traduit du Russe par G. Ter Gazarian. gr. 8. 192 S. Paris, A. Hermann. 1908. 8 fr.

Eine vorzüglich ausgestattete Zusammenstellung über die Apparate und Methoden des Moskauer thermischen Laboratoriums, in Gestalt einer Reihe von Einzelabhandlungen wie gemeinsamen Abhandlungen der beiden Verfasser aus dem Gebiete der exakten Kalorimetrie. Der mit kalorimetrischen Arbeiten Beschäftigte wird sicher manche Anregung aus der vorliegenden Zusammenstellung schöpfen können. E. Bose.

Führer durch die Sammlungen des Deutschen Museums von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik in München. Quer-Lex.-8. 158 S. mit 55 Abbildungen und 52 Plänen. Leipzig, B. G. Teubner. 1908. 1 M.

Der nunmehr erschienene Führer durch die Sammlungen des Deutschen Museums von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik in München bietet nicht nur dem Besucher dieses Museums einen vortrefflichen Wegweiser. Auch wer daheim in dem mit 55 Abbildungen und 52 Saalplänen geschmückten, hübsch ausgestatteten und überaus preiswerten Büchlein liest, wird nicht leer ausgehen. Der Führer enthält nämlich nicht nur eine trockene Aufzählung der Ausstellungsobjekte, sondern auch eine kurze Beschreibung der einzelnen Stücke. Er bietet somit gleichsam einen kurzen Überblick über die Geschichte der Naturwissenschaft und Technik in Einzelbildern. Der Leser lernt die Entwicklung dieser Disziplinen kennen und die Errungenschaften würdigen. Wer dieses empfehlenswerte Werkchen aufmerksam durchgesehen hat, wird bei gelegentlicher Anwesenheit in München sicher nicht versäumen, der wohl einzigartigen Sammlung einen Besuch abzustatten. Max Iklé.

Deutsches Museum von Meisterwerken der Naturwissenschaft und Technik. Bibliothek-Katalog. Lex.-8. IX u. 271 S. Leipzig, B. G. Teubner. 1907. 5 M.

Wie das Vorwort angibt, „soll die Bibliothek des Deutschen Museums in ihrer weiteren Ausgestaltung eine Zentralstelle der alten und neuen Literatur werden, soweit diese die exakten Naturwissenschaften sowie die Technik und Industrie umfaßt. — Außer Büchern und Zeitschriften enthält die Bibliothek als besonderen Schatz auch Handschriften bedeutender Gelehrter und Techniker. Im innigsten Anschluß an die Bibliothek soll eine Plansammlung errichtet werden, die als ein Archiv hervorragender Werke der Technik ein ganz besonderes Belehrungsmittel bilden wird. Es ist in Aussicht genommen, nach weiterer Vervollständigung der Bibliothek durch die zu erwartenden Stiftungen sowie nach dem weiteren Ausbau der Plansammlung einen vollständigen Katalog herauszugeben, während dessen gegenwärtige Ausgabe nur als provisorischer Behelf für die Benutzung der Bibliothek dienen soll." —

Dieser provisorische Katalog gibt bereits ein Bild von der Vielseitigkeit und der Reichhaltigkeit der Bibliothek und läßt erkennen, daß die Bibliothek wohl geeignet sein wird, ihren Zweck zu erfüllen, d. h. tatsächlich eine Zentralstelle der alten und neuen naturwissen-

schaftlichen und technischen Literatur zu werden. Die Durchsicht des Kataloges zeigt, wie manche seltene Erscheinung in der Bibliothek zu finden ist. Sie zeigt aber auch die Lücken der Sammlung, und gerade hierdurch dürfte dieser provisorische Katalog vielleicht noch den Nutzen stiften, daß er manchen veranlaßt, Dubletten oder für ihn weniger wertvolle Stücke seines Privatbesitzes diesem gemeinnützigen Unternehmen zu überweisen und damit zum weiteren Ausbau der wertvollen Sammlung beizutragen. Hoffen wir, daß der endgültige Katalog nicht allzu lange mehr wird auf sich warten lassen müssen. Max Iklé.

R. Rinkel, Einführung in die Elektrotechnik. Physikalische Grundlagen und technische Ausführungen. (Teubners Handbücher für Handel u. Gewerbe.) gr. 8. VI u. 463 S. mit 445 Abbildungen. Leipzig, B. G. Teubner. 1908. M. 11,20, gebunden M. 12,—.

Obgleich an allgemeinverständlichen Darstellungen auf dem Gebiete der Elektrotechnik kein Mangel herrscht, wird dieses Buch doch den Platz, den ihm der Verfasser zugewiesen hat, ausfüllen. Es gibt einen guten Überblick über den augenblicklichen Stand des Gebietes, indem es vor allem die wesentlichen Gesichtspunkte heraushebt, die auch vom Nichtfachmann ohne tieferes Eingehen auf die Einzelheiten jedes Problemes verstanden werden können. Spezialausführungen werden nur angedeutet, entsprechend der Entstehungsweise des Buches, das aus Vorträgen des Verfassers an der Handelshochschule zu Köln hervorgegangen ist. R. Rüdenberg.

L. Mamlock, Stereochemie, die Lehre von der räumlichen Anordnung der Atome im Molekül. gr. 8. VI u. 152 S. mit 58 Figuren. Leipzig, B. G. Teubner. 1907. Gebunden M. 7,—

F. W. Hinrichsen, Vorlesungen über chemische Atomistik. 8. VIII u. 198 S. mit 7 Abbildungen. Leipzig, B. G. Teubner. 1908. Gebunden M. 7,—

Die beiden vorliegenden Werkchen haben eines gemeinsam, was sie in den Augen vieler Leser unserer Zeitschrift für den Physiker besonders geeignet machen dürfte; sie sind beide hervorgegangen aus Artikeln, die ursprünglich für die Enzyklopädie der mathematischen Wissenschaften geschrieben waren und deren erweiterte Ausgabe sie gewissermaßen darstellen. Damit sind beide zugleich dahin charakterisiert, daß eine Häufung des rein chemischen Tatsachenmaterials vermieden und statt dessen mehr das allgemein wichtige hervorgehoben wird. E. Bose.

Jahrbuch der Chemie. Bericht über die wichtigsten Fortschritte der reinen und angewandten Chemie. Herausgegeben von R. Meyer. XVII. Jahrgang. 1907. gr. 8. XII u. 576 S. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn. 1908. M. 16,—, gebunden M. 17,— u. M. 18,—

Das Jahrbuch der Chemie hat die überaus wertvolle Eigenschaft, prompt zu erscheinen, und hat sich nicht zum mindesten dadurch einen Freundeskreis erworben. Wenn der Referent der Anmeldung des Berichts über das Jahr 1907, der im übrigen keiner besonderen Empfehlung mehr bedarf, noch eine Bemerkung hinzufügen darf, so wäre es besonders die Bitte um eine noch eingehendere Fürsorge für das Sach- und Namenregister, da es bisweilen geschieht, daß man einen Bericht sucht, aber nicht findet, da er im Register nicht aufgeführt ist. Bei einer anderen Gelegenheit entdeckt man dann zufällig, daß der betreffende Artikel referiert, aber keine Notiz im Register darüber vorhanden ist. E. Bose.

Paul Goerens, Introduction to Metallography. Translated by Fred Ibbotson. Longmans Green and Co. London. 1908.

Da es sich nur um die Übertragung eines ursprünglichen deutschen Werkes ins Englische handelt, möge der Hinweis auf die dadurch ausgesprochene Wertschätzung der deutschen Ausgabe hier genügen. E. Bose.

P. Vageler, Die Bindung des atmosphärischen Stickstoffs in Natur und Technik. (Die Wissenschaft. Heft 26.) 8. 132 S. mit 16 Abbildungen im Text und auf 5 Tafeln. Braunschweig, Fr. Vieweg & Sohn. 1908. M. 4,50, gebunden M. 5,20.

Der Verfasser behandelt in diesem neuen Heft der „Wissenschaft" die jetzt besonders aktuelle Frage der Stickstoffaktivierung hauptsächlich vom Standpunkt des Agrikulturchemikers aus, während die physikalisch-chemische und technische Seite des Problems nur ganz summarisch besprochen wird. Infolge des ersterwähnten klar und übersichtlich durchgeführten agrikulturchemischen Standpunktes bildet das Werkchen eine willkommene Ergänzung zu dem in physikalisch-chemischer und technischer Hinsicht bestem Buche auf diesem Gebiete, nämlich Donath-Frenzel, „Nutzbarmachung des atmosphärischen Stickstoffs".

Das Resultat der Anwendung der Agrikulturchemie auf das Stickstoffproblem kann dahin zusammengefaßt werden, daß weder die höheren noch die niederen Pflanzen in irgendwie nennenswertem Grade die Fähigkeit besitzen, atmosphärischen Stickstoff zu assimilieren. Verschiedene freilebende Bakterien (wie

Clostridium, Azotobakter) besitzen diese Fähigkeit, die für wilde Gewächse von großer Bedeutung ist, für Kulturgewächse aber kaum in Frage kommt. Viel wichtiger für das Problem des Stickstoffsatzes ist die Fähigkeit der Leguminosen, mit Hilfe ihrer symbiotischen Knöllchenbakterien freien Stickstoff zu binden. Doch ist von dieser Seite eine Stickstoffversorgung nur für einen kleinen Bruchteil der Landwirtschaft zu erwarten. Das letzte Wort in dieser Lebensfrage der Menschheit hat die Technik, die auch bereits einige erfolgreiche Schritte zu dem noch fernen Ziel getan hat.

K. Jellinek.

W. Ostwald, Der Werdegang einer Wissenschaft. Sieben gemeinverständliche Vorträge aus der Chemie. 2. Vermehrte u. verbesserte Auflage der „Leitlinien der Chemie". 8. X und 316 Seiten. Leipzig, Akademische Verlagsbuchhandlung m. b. H. 1908. M. 6,60, gebunden M. 7,50.

In diesem Werkchen gibt Ostwald eine Entwicklungsgeschichte der wichtigsten Begriffe der wissenschaftlichen Chemie. Es handelt sich nicht um eine erschöpfende Darstellung der Geschichte der Chemie, sondern nur um eine Reihe von Querschnitten durch das Gebiet dieser Wissenschaft. Behandelt wird die Geschichte folgender Begriffe und Teile der Chemie: Element, Verbindungsgewicht und Atom, das Gasgesetz, das Molekül, Isomerie und Konstitution, Elektrochemie, Affinität und chemische Dynamik.

Neues, das Ostwald nicht schon an anderer Stelle (in seinem großen Lehrbuch u. a. Ortes) gebracht hat, findet sich kaum, doch wird nicht nur der Laie, sondern auch der wissenschaftliche Chemiker diese schönen Essays mit Genuß lesen.

K. Jellinek.

W. Bermbach, Einführung in die Elektrochemie. Sammlung „Wissenschaft und Bildung". 20. Heft. 8. IV u. 144 S. Leipzig, Quelle & Meyer. 1908. M. 1,—, geb. M. 1,25.

In diesem ausgezeichneten Werkchen unternimmt es der Autor auf 140 Seiten jeden, der die Grundbegriffe der Chemie und Physik kennt, mit dem Gebiete der Elektrochemie in seinen Hauptzügen bekannt zu machen. Es werden zunächst die Hauptgesetze der Elektrizitätslehre und der physikalischen Chemie, die zum Verständnis der Elektrochemie nötig sind, in anschaulicher Weise, unterstützt durch gute Zeichnungen vorgeführt und dann das ganze Gebiet der heutigen Elektrochemie skizziert. Hervorzuheben ist, daß der Autor überall die neueste Literatur benutzt und somit seine Führung dem jüngsten Stande dieses Wissenszweiges gerecht wird. Das Büchlein, das dem vorzüglichen, aber größer angelegten Werkchen von H. Danneel (Sammlung Göschen) an die Seite gestellt zu werden verdient, kann nicht nur dem Laien, sondern auch jedem angehenden Physikochemiker zur Lektüre wärmstens empfohlen werden, zumal der Preis von 1,25 M. gebunden ein sehr wohlfeiler ist.

K. Jellinek.

Personalien.

(Die Herausgeber bitten die Herren Fachgenossen, der Redaktion von eintretenden Änderungen möglichst bald Mitteilung zu machen.)

Habilitiert: An der Technischen Hochschule Braunschweig Dr. Hermann Emde für Chemie, an der Technischen Hochschule Wien Dr. A. Prätorius für Physikalische Chemie, an der Böhmischen Universität Prag Dr. J. Sterba für Geschichte der chemischen Theorien, an der Akademie für Sozial- und Handelswissenschaften in Frankfurt a. M. Dr. Max Seddig für Physik.

Ernannt: Der a. o. Professor an der Universität Czernowitz Dr. Josef Plemelj zum ord. Professor der Mathematik ebendaselbst, der Privatdozent Dr. Fr. von Konek-Norwall an der Universität Budapest zum a. o. Professor für organische Chemie ebenda, der a. o. Professor an der Universität Budapest Dr. Lajos Winkler zum ord. Professor für Chemie ebendaselbst, der Privatdozent an der Sorbonne in Paris Dr. G. Bertrand zum ord. Professor für biologische Chemie an dieser Universität, der Privatdozent an der Universität Basel Dr. Otto Spieß zum a. o. Professor für Mathematik daselbst, der Chemiker an der Chemisch-technischen Prüfungs- und Versuchsanstalt der Technischen Hochschule Karlsruhe Dr. Emil Arnold zum Professor, der Privatdozent an der Universität Tübingen Dr. Richard Gans zum a. o. Professor der Physik, der ord. Professor für kosmische Physik an der Universität Innsbruck Dr. Wilhelm Trabert in gleicher Eigenschaft an der Universität Wien, der Meteorologe an der Sternwarte zu Uccle J. Vincent zum Direktor der meteorologischen Abteilung derselben, der ord. Professor der Astronomie an der Universität Berlin Dr. Julius Bauschinger in gleicher Eigenschaft an der Universität Straßburg.

Neuer Lehrauftrag: Der ord. Professor der angewandten Mechanik an der Universität Göttingen Dr. Ludwig Prandtl für Aeronautik.

Rücktritt vom Lehramt: o. Professor der anorg. Chemie an der Universität Bern Dr. Karl Friedheim für Ende Sommer, a. o. Professor für angewandte Mathematik und technische Physik an der Universität Jena Dr. Rudolf Rau.

Verliehen: Dem ord. Professor der Experimentalphysik an der Universität München Geheimer Rat Dr. Wilhelm Konrad Röntgen und dem ord. Professor der Chemie ebenda Geheimer Rat Dr. Adolf Ritter v. Baeyer das Prädikat Exzellenz, dem ord. Professor der Mathematik an der Technischen Hochschule München Dr. Walther v. Dyck der Titel Geheimer Rat, dem ord. Professor der Chemie an der medizinischen Fakultät der Universität Freiburg i. B. Dr. Heinrich Kiliani und dem ord. Professor der mechanischen Technologie und allgemeinen Maschinenlehre an der Technischen Hochschule Karlsruhe Georg Lindner der Titel Geheimer Hofrat.

Gestorben: Der ord. Professor für Physik der Erde an der Universität Wien und Direktor der Zentralanstalt für Meteorologie daselbst Hofrat Dr. Josef Peruter, der Chemiker Dr. K. Hägele in Griesheim, der Professor der Physik an der freien Universität Brüssel Ernest Rousseau, der o. Professor der Astronomie an der Northwestern University in Chicago und Direktor des Dearborn Laboratory in Evanston George W. Hough, der ord. Professor der Mathematik an der Universität Göttingen Dr. Hermann Minkowski.

Für die Redaktion verantwortlich Professor Dr. Emil Buse in Oliva bei Danzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

Telegraphie und Telephonie

von

J. Noebels,
Vorsteher des Telegraphen-Baubureaus des Reichspostamtes

A. Schluckebier,
Kaiserlicher Postrat.

O. Jentsch,
Kaiserlicher Postrat.

Zweite Auflage.

Mit 762 Abbildungen.

57 Bogen Lexikon-Oktav. — Preis gebunden 30 Mark.

(Auch u. d. Titel: Handbuch der Elektrotechnik. XII. Band.)

Aus dem Vorwort zur zweiten Auflage:

Seit dem Erscheinen der ersten Auflage sind auf dem Gebiete der **Schwachstromtechnik** wesentliche Fortschritte zu verzeichnen; es sind neue Schnelltelegraphen geschaffen und in die Praxis eingeführt worden, zahlreiche Apparate und Schaltungen haben Verbesserungen erfahren, die **Telegraphie ohne Draht** ist vervollkommnet und als Nachrichtenverkehrsmittel ihrer älteren Schwester an die Seite gestellt worden; das Fernsprechwesen hat in Technik und Betrieb eine vollständige Umwälzung durchgemacht, auch die **Telephonie ohne Draht** ist inzwischen ins Leben getreten.

Alle diese Neuerungen sind bei der zweiten Auflage des Handbuchs **in vollem Umfange** berücksichtigt worden. Mit Ausnahme der Abschnitte über die alten bewährten Apparatsysteme wie Morse, Hughes usw. haben fast alle die Telegraphie betreffenden Abschnitte erweitert und umgearbeitet werden müssen. Hinzugekommen sind aus dem Gebiete der Telegraphie namentlich **die Zentralisierung der Anrufe, die Maschinentelegraphie von Murray, Creed, Buckingham, Siemens & Halske, verschiedene Einrichtungen für den Betrieb längerer Seekabel (Kapillartelegraph, Übertragung, Picardsche Kerzenschaltung u. a.)** und ein Abschnitt über **Telautographen.** Erweitert worden sind die Kapitel über Sammlerbatterien und über Feldtelegraphen für Kriegszwecke; der **Telegraphie ohne Draht (Wellentelegraphie)** ist eine der gegenwärtigen Bedeutung des Verkehrsmittels angemessene umfangreiche Abhandlung gewidmet. —

Die zweite Abteilung des Werkes **„Telephonie"** hat eine von Grund aus neue Bearbeitung erfahren. Hier hat namentlich die in den letzten Jahren erfolgte Einführung des **Zentralbatteriebetriebs** mit automatischen Signalen in allen großen und mittleren Ortsfernsprechnetzen mit automatischen Signalen in allen großen und mittleren Ortsfernsprechnetzen sowie das außerordentliche Anwachsen dieser Netze eine völlige Umgestaltung der Apparate und Schaltungen bei den Ämtern und Sprechstellen zur Folge gehabt. Die Signalklappen sind durch **Lampensignale** ersetzt, zahlreiche Schaltungen für Fernsprechnebenanschlüsse neu eingeführt, den Handbetriebszentralen **automatische Selbstanschlußämter** an die Seite getreten. Neben diesen Fortschritten ist auf die Erfindungen von Pupin u. a. zur Verbesserung der Sprechfähigkeit von **Kabeln** und **Freileitungen** eingegangen und dabei auch der Abschnitt über die physikalischen Grundlagen erheblich umgestaltet worden.

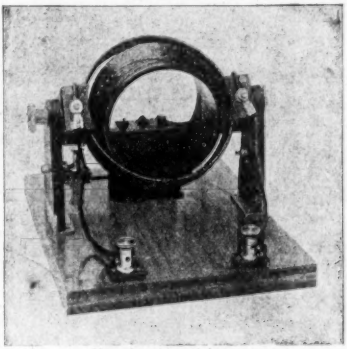
Inhalt: **Telegraphie. Geschichtliche Entwicklung. Physikalische Grundlagen. Die Fernsprechapparate.** Stromquellen, Gesetze des elektrischen Stromes, Elektromagnetismus und Induktion, Stromverlauf in Telegraphenleitungen. **Apparatkunde und Schaltungslehre.** Schreibtelegraphen, Drucktelegraphen, Sprechtelegraphen, Maschinentelegraphen, Telautographen, Feldtelegraphen. **Mehrfachtelegraphie.** Gleichzeitige Mehrfachtelegraphie. Wechselzeitige Mehrfachtelegraphie. **Meßinstrumente und Meßverfahren. Telegraphie ohne Drahtleitung. Die Wellentelegraphie.** Physikalische Grundlagen. Die praktische Lösung des Problems der Wellentelegraphie durch Marconi. Das System Marconi. Die Systeme Telefunken, Lodge-Muirhead, Fessenden, Popoff-Ducretet, De Forest, Tesla. Mehrfache Wellentelegraphie. Gerichtete Wellentelegraphie. Wellentelegraphie mittels ungedämpfter Schwingungen. Die Wellenanzeiger. Die Wellenmesser.

Telephonie. Geschichtliche Entwicklung. Physikalische Grundlagen. Die Fernsprechapparate. Sprechapparate. Signalapparate. Nebenapparate. Fernsprechgehäuse und Umschaltetafeln. **Die Fernsprechstellen.** In Reihe geschaltete Sprechstellen. Parallel geschaltete Sprechstellen. An Zentralen angeschlossene Sprechstellen. Sprechstellen mit Nebenanschlüssen. **Die Fernsprechämter.** Fernsprechämter mit Einfachumschaltern. Fernsprechämter mit Vielfachumschaltern. Fernsprechämter mit Zentralbatterie. Große Ämter mit geteiltem Klinkenfeld. Selbstanschlußämter. Fernämter. Stromlieferung für große Fernsprechämter. **Die Fernsprechleitungen.** Schutz gegen störende Fremdströme. Verminderung der Dämpfung. **Telephonie ohne Drahtleitung.**

Bau der Telegraphen- und Fernsprechanlagen. Geschichtlicher Entwicklungsgang. Oberirdische Linie. Versenkte Linie (Kabel). **Materialienkunde.** Materialien für oberirdische Linien. Materialien für versenkte Linie. **Bau von Telegraphen- und Fernsprechanlagen.**

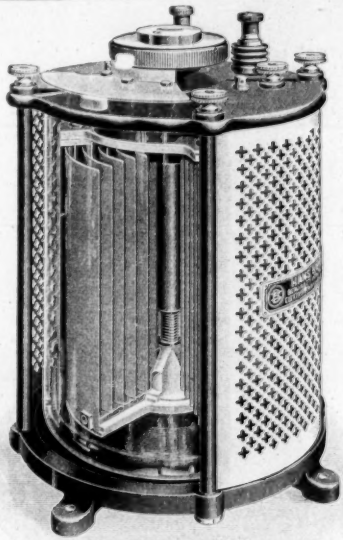
C. Lorenz ≡ Aktien-gesellschaft
Berlin S.O. 26.

Drahtlose Telegraphie **System Poulsen.**



Kopplungsvorrichtung.

Alle Hilfsapparate für drahtlose Telegraphie.



Drehkondensator.

Hans Boas, Berlin O.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

Wärmetechnik und Signalwesen

Zweite Abteilung.

Mit 541 Abbildungen und 26 Tafeln.

Preis gebunden 27 Mark.

(Handbuch der Elektrotechnik. XI. Band. 2. Hälfte.)

Inhalt: V. Engelhardt, Elektrothermische Einrichtungen und Verfahren. K. Hohage, Die elektrische Minenzündung. H. Freytag, Feuertelegraphie. H. Schwerin, Elektrische Eisenbahn-Signale und -Weichen. R. Vogel, Blocksignale.

Für den Anzeigenteil verantwortlich S. Hirzel in Leipzig. — Verlag von S. Hirzel in Leipzig.
Druck von August Pries in Leipzig.

Physikalische Zeitschrift

Herausgegeben von

E. RIECKE
o. ö. Professor
an der Universität Göttingen.

und

H. TH. SIMON
o. ö. Professor
an der Universität Göttingen.

Unter ständiger Mitarbeit für den referierenden Teil

von

Prof. Dr. M. ABRAHAM, Prof. Dr. L. AMBRONN, Prof. Dr. H. BORUTTAU, Prof. Dr. A. COEHN, Prof. Dr. TH. DES COUDRES, Prof. Dr. W. KAUFMANN, Prof. Dr. H. LORENZ, Prof. Dr. E. MEYER, Prof. Dr. L. RHUMBLER, Prof. Dr. K. SCHAUM, Prof. Dr. G. C. SCHMIDT, Prof. Dr. K. SCHWARZSCHILD, Prof. Dr. E. WIECHERT, Prof. Dr. E. ZERMELO.

Redaktion: Professor Dr. **EMIL BOSE** in Oliva bei Danzig, Georgstraße 22.

Verlag von S. Hirzel in Leipzig, Königstrasse 2.

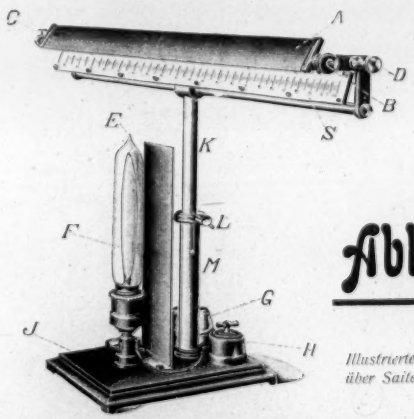
Amsterdam, Johannes Müller. – **Brüssel**, Misch & Thron. – **Budapest**, Fr. Kilián's k. Universitätsbuchhandlung Nachfolger. – **Kopenhagen**, C. A. Reitzel. – **Kristiania**, Cammermeyers Boghandel. – **Mailand**, Ulrico Hoepli. – **New-York**, Lemcke & Buechner; G. E. Stechert & Co. – **Oxford**, Parker & Son. – **Paris**, C. Klincksieck. – **St. Petersburg**, K. L. Ricker. – **Stockholm**, Aktiebolaget Nordiska Bokhandeln. – **Wien**, Gerold & Co. – **Zürich**, Rascher & Cie., Meyer & Zeller's Nachfolger.

No. 3. 1. Februar 1909. No. 288. 10. Jahrgang.

Die Physikalische Zeitschrift erscheint monatlich zweimal im Umfange von mindestens 4 Bogen zum Preise von 25 Mark jährlich. (Jahresabonnement bei direkter Zustellung unter Kreuzband im Inland 28, im Ausland 29,60 Mark.) Bestellungen nehmen jede Buchhandlung, die Post sowie die Verlagsbuchhandlung entgegen. Anzeigen werden für die einmal gespaltene Petitzeile mit 60 Pfennigen, Beilagen nach Vereinbarung berechnet; bei Wiederholungen tritt Ermäßigung ein. Abdruck von Originalartikeln ist nur mit Genehmigung der Redaktion und der Verlagsbuchhandlung gestattet.

Alle die Redaktion betreffenden Zuschriften sind an Herrn Professor Dr. Emil Bose in Oliva bei Danzig, Georgstraße 22, alle Büchersendungen und Anzeigenaufträge an den Verleger zu richten.

Phys.-mech. Institut von Prof. Dr. M. Th. Edelmann & Sohn,



München.

Objektive

Ablesevorrichtung.

Illustrierte Preisliste Nr. 27, sowie Separatliste Nr. 28 über Saiteninstrumente und photographische Registrierapparate gratis und franko.

REGISTER:

(N. = Naturforscherversammlung, B. = Besprechung.)

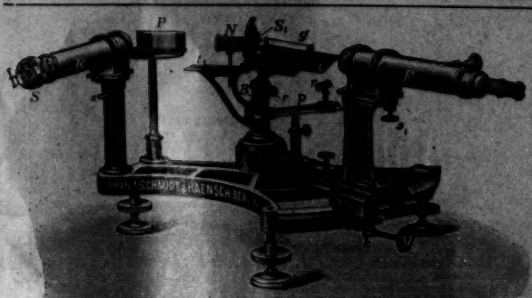
Aktinium: Über eine neue Erscheinung bei der Aktivierung mit —, v. O. Hahn 81
Aktivierung: Über eine neue Erscheinung bei der — mit Aktinium, v. O. Hahn 81
Arrhenius, S., Das Werden der Welten. (B.) . . . 112
— Die Vorstellung vom Weltgebäude im Wandel der Zeiten. (B.) 112
Astasierung: Magnetische — von Drehspulengalvanometern, v. M. Reinganum 91
Balmersche Serie: Die vollständige — im Spektrum des Natriums, v. R. W. Wood 88
Barretter: Beiträge zur Kenntnis des —, v. J. Rautenkrantz 93
Dampfmolekül: Bemerkung zur Arbeit des Herrn Fürstenau über $\frac{e}{m}$ im Hg —, v. R. Pohl 90
Drehspulengalvanometer: Magnetische Astasierung von —, v. M. Reinganum 91
Elektrischer Strom: Über eine neue Wirkung des —, v. E. Meyer 90
Elektrolyte: Über die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für —, v. A. Eucken 97
Eucken, A., Über die Gültigkeit des Ohmschen Gesetzes für Elektrolyte 97
Fischer, V., Die Lorenzsche Theorie der Kreiselräder 103
Fürstenau: Bemerkung zur Arbeit des Herrn — über $\frac{e}{m}$ im Hg-Dampfmolekül, v. R. Pohl 90
Galvanometer: Magnetische Astasierung von Drehspulen —, v. M. Reinganum 91
Hahn, O., Über eine neue Erscheinung bei der Aktivierung mit Aktinium 81
Kant und die Naturwissenschaft, v. E. König. (B.) . . 111
König, E., Kant und die Naturwissenschaft. (B.) . . 111
Kreiselräder: Die Lorenzsche Theorie der —, v. V. Fischer 103
Ladenburg, A., Naturwissenschaftliche Vorträge. (B.) 111
Lorenzsche Theorie: Die — der Kreiselräder, v. V. Fischer 103
Magnetische Astasierung von Drehspulengalvanometern, v. M. Reinganum 91
Mechanik: Einige Grundzüge der —, v. J. Radakovits 99
Meyer, E., Über eine neue Wirkung des elektrischen Stromes 90
Minkowski, H., Raum und Zeit. (N.) 104
Natrium: Die vollständige Balmersche Serie im Spektrum des —, v. R. W. Wood 88
Naturwissenschaft: Kant und die —, v. E. König. (B.) 111
Naturwissenschaftliche Vorträge, v. A. Ladenburg. (B.) 111
Ohmsches Gesetz: Über die Gültigkeit des — für Elektrolyte, v. A. Eucken 97
Pohl, R., Bemerkung zur Arbeit des Herrn Fürstenau über $\frac{e}{m}$ im Hg-Dampfmolekül 90
Radakovits, J., Einige Grundzüge der Mechanik . . 99
Raum und Zeit, v. H. Minkowski. (N.) 104
Rautenkrantz, J., Beiträge zur Kenntnis des Barretters 93
Reinganum, M., Magnetische Astasierung von Drehspulengalvanometern 91
Spektrum: Die vollständige Balmersche Serie im — des Natriums, v. R. W. Wood 88
Strom: Über eine neue Wirkung des elektrischen —, v. E. Meyer 90
Welten: Das Werden der —, v. S. Arrhenius. (B.) . . 112
Weltgebäude: Die Vorstellung vom — im Wandel der Zeiten, v. S. Arrhenius. (B.) 112
Wood, R. W., Die vollständige Balmersche Serie im Spektrum des Natriums 88
Zeit: Raum und —, v. H. Minkowski. (N.) 104

Verlag von S. Hirzel in Leipzig.

Max Planck
Professor der theoretischen Physik an der Universität in Berlin

Die Einheit des physikalischen Weltbildes.

Vortrag gehalten am 9. Dezember 1908 an der Universität Leiden. Preis 1 M. 25 Pf.



Interferenzspektroskop nach Lummer-Gehrcke, geliefert an die Physikalisch-techn. Reichsanstalt.

Franz Schmidt & Haensch,
Berlin S. 42, Prinzessinnenstr. 16.

Neue Apparate und Utensilien aus dem Gebiete der
Polarisation, Spektroskopie, Photometrie, Projektion.
Apparate für **Spiegelablesung,**
sowie verschiedene optische **Spezialinstrumente.**
Preislisten kostenlos.